

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2012

Bc. Michal Bezecný

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

**Akumulace energie získané
z obnovitelných zdrojů**

Storage Electric Energy Gained
of Renewable Energy Sources

2012

Bc. Michal Bezecný

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Bezecný**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů**
Storage Electric Energy Gained of Renewable Energy Sources

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor a řešení zadané literatury
2. Systémy akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů
3. Posouzení alternativ vybraných systémů
4. Návrh kritérií pro rozhodovací analýzy se zaměřením na téma práce
5. Vyhodnocení optimální varianty akumulace
6. Akumulace vodíkovou technologií v laboratoři VŠB-TU Ostrava

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení
2. Sborník Konference EPE - 2011 Dlouhé Stráně
3. Janíček, F.: Renewable energy sources 1, Bratislava STU
4. Cenek, M. a kol.: Akumulátory od principu k praxi
5. Libra M., Poulek, V.: Fotovoltaika, Praha: ISLA 2009

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

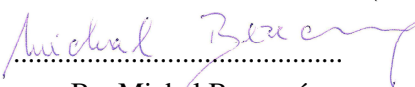

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 4.5.2012



.....

Bc. Michal Bezecný

Poděkování

Chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Zdeňkovi Hradílkovi, DrSc. a Ing. Petrovi Moldříkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku akumulace elektrické energie získávané z obnovitelných zdrojů. Zabývá se popisem vybraných variant pro akumulaci elektrické energie. Jednou z variant je akumulace energie pomocí vodíkového systému, která je v této práci řešena. Je zde popsán problém při rozhodování pro nejlepší variantu pomocí metody váženého součtu (WSA). Hlavním cílem je zjišťování účinnosti tohoto vodíkového systému, jehož potřebné hodnoty k výpočtu jsou získány praktickým měřením v laboratoři palivových článků VŠB – TU Ostrava.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje, Akumulace, Palivový článek, Elektrická energie, Elektrolyzér, Rozhodovací analýza, Vodík

Abstract

This thesis is focused on the accumulation of electrical energy from renewable sources. It describes the options selected for the accumulation of electrical energy. One option is using hydrogen energy storage system that is solved in this work. There is described a problem in deciding the best option for using the weighted sum (WSA). The main objective is the efficacy of the hydrogen system, which needed to calculate the values obtained by laboratory practical fuel cell VSB - TU Ostrava.

Key words

Renewable energy; Accumulation; Fuel cell; Electrical energy; Electrolyzer; Decision analysis; Hydrogen

Obsah:

ÚVOD	1
1 OBNOVITELNÉ ZDROJE.....	2
1.1 ENERGIE VODY	2
1.2 BIOMASA.....	4
<i>Způsob využití biomasy.....</i>	<i>4</i>
1.3 ENERGIE VĚTRU.....	5
<i>Malé větrné elektrárny.....</i>	<i>5</i>
<i>Střední a velké větrné elektrárny.....</i>	<i>6</i>
<i>Vrtule větrných elektráren</i>	<i>6</i>
1.4 SLUNEČNÍ ENERGIE	7
<i>Solární články</i>	<i>9</i>
1.5 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	10
2 SYSTÉMY AKUMULACE ENERGIE ZÍSKANÉ Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ.....	12
2.1 AKUMULACE ENERGIE.....	12
<i>Druhy akumulace</i>	<i>12</i>
2.2 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY	13
2.3 SODÍK-SÍROVÉ BATERIE	13
2.4 CAES (COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE) SYSTÉM.....	14
2.5 LI-ION BATERIE	15
2.6 NI-MH BATERIE	16
2.7 SUPERKAPACITORY	17
2.8 LI-AIR BATERIE	17
<i>Výzkum.....</i>	<i>18</i>
<i>Nabíjení a vybíjení</i>	<i>18</i>
2.9 SETRVAČNÍKY	19
2.10 VODÍKOVÁ TECHNOLOGIE	20
<i>Výroba vodíku elektrolýzou.....</i>	<i>21</i>
2.11 PALIVOVÉ ČLÁNKY.....	22
<i>Palivový článek s elektrolytem na bázi uhličitany (MCFC).....</i>	<i>23</i>
<i>Palivový článek s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOFC).....</i>	<i>24</i>
<i>Palivový článek s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC).....</i>	<i>25</i>
<i>Palivové články s protonovými membránami (PEMFC).....</i>	<i>26</i>
3 POSOUZENÍ ALTERNATIV VYBRANÝCH SYSTÉMŮ AKUMULACE	28
4 NÁVRH KRITÉRIÍ PRO SROVNÁNÍ VYBRANÝCH SYSTÉMŮ AKUMULACE ..	30
4.1 NÁVRH KRITÉRIÍ.....	31
<i>Saatyho metoda.....</i>	<i>32</i>
5 VYHODNOCENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY AKUMULACE	34
5.1 METODA WSA	34
6 AKUMULACE VODÍKOVOU TECHNOLOGIÍ V LABORATOŘI VŠB-TU	
OSTRAVA 38	

6.1 LABORATOŘ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ VŠB - TU OSTRAVA.....	38
6.2 MĚŘENÍ NA VODÍKOVÉM AKUMULAČNÍM SYSTÉMU	41
6.3 ÚČINNOST VODÍKOVÉHO AKUMULAČNÍHO SYSTÉMU	44
<i>Účinnost elektrolyzéru</i>	<i>44</i>
<i>Účinnost modulu palivových článků</i>	<i>45</i>
<i>Účinnost nabíječe baterií (Sunny Charger 40)</i>	<i>46</i>
<i>Účinnost střídače (Sunny Island 4248)</i>	<i>46</i>
<i>Účinnost celého vodíkového akumulčního systému.....</i>	<i>47</i>
ZÁVĚR	48
LITERATURA.....	50

Seznam obrázků

OBR. 1 KAPLANOVA TURBÍNA	2
OBR. 2 FRANCISOVA TURBÍNA	3
OBR. 3 PELTONOVA TURBÍNA	3
OBR. 4 PALIVO BIOMASY	4
OBR. 5 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA	5
OBR. 6 MAPA PRŮMĚRNÉ RYCHLOSTI VĚTRU V ČR	7
OBR. 7 VÝKON FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY V PRŮBĚHU DNE	8
OBR. 8 PRŮMĚRNÝ ROČNÍ ÚHRN GLOBÁLNÍHO ZÁŘENÍ V kWh/m^2	8
OBR. 9 SLUNEČNÍ ELEKTRÁRNA	9
OBR. 10 SCHÉMA POLOVODIČOVÉHO FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ	10
OBR. 11 GEOTERMÁLNÍ ELEKTRÁRNA	11
OBR. 12 NAS BATERIE	14
OBR. 13 PRINCIP CAES SYSTÉMU	15
OBR. 14 PRŮŘEZ TYPICKOU LI-IONOVOU BATERÍ	16
OBR. 15 KONSTRUKCE VÁLCOVÉHO NI-MH ČLÁNKU	17
OBR. 16 PRINCIP LI-AIR AKUMULÁTORU	19
OBR. 17 SETRVAČNÍK	20
OBR. 18 ZPŮSOBY VÝROBY VODÍKU	21
OBR. 19 ELEKTROLYZÉR	22
OBR. 20 PEM ČLÁNEK	27
OBR. 21 ALTERNATIVY AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	28
OBR. 22 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ÚČINNOSTI	36
OBR. 23 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NÁKLADŮ NA ENERGII	37
OBR. 24 TLAKOVÉ LÁHVE PRO USKLADNĚNÍ VODÍKU, VYRÁBĚNÉHO ELEKTROLYZÉREM HOGEN GC600 (VPRAVO)	38
OBR. 25 ELEKTROLYZÉR HOGEN GC600 (VLEVO) A MODUL PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ NEXA UMÍSTĚNÉ V DIGESTOŘÍCH	39
OBR. 26 FOTOVOLTAICKÉ PANELE SCHOTT POLY 165 NA STŘEŠE LABORATOŘE	39
OBR. 27 MĚNIČ SUNNY CHARGER 40, STRÍDAČ SUNNY ISLAND 4248, BATERIE FIAMM 12FLB300	40
OBR. 28 SCHÉMA AKUMULAČNÍHO SYSTÉMU S VYZNAČENÝMI MĚŘICÍMI BODY	41
OBR. 29 ČASOVÝ PRŮBĚH PROUDU ELEKTROLYZÉRU (I_{ELC}), NAPĚTÍ BATERÍ (U_{BAT}) A VÝKONU FOTOVOLTAICKÝCH PANELEŮ (P_{FC})	42
OBR. 30 ČASOVÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ NA FOTOVOLTAICKÝCH PANELECH	43
OBR. 31 ČASOVÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ NA BATERIÍCH	43
OBR. 32 ČASOVÝ PRŮBĚH PROUDU NA FOTOVOLTAICKÝCH PANELECH	43
OBR. 33 ČASOVÝ PRŮBĚH VÝKONU NA ELEKTROLYZÉRU	44

Seznam tabulek

TAB. 1 TYPY PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ	23
TAB. 2 VÝHODY A NEVÝHODY SYSTÉMU AKUMULACE	29
TAB. 3 HODNOTY K VÝPOČTU	31
TAB. 4 VZTAHY MEZI KRITÉRII	33
TAB. 5 VÁHY KRITÉRIÍ	33
TAB. 6 VYPOČTENÉ HODNOTY UŽITKU JEDNOTLIVÝCH VARIANT DLE METODY WSA	35

Úvod

Pro lidskou společnost a její budoucnost je jedním z hlavních témat nalezení zdrojů výroby elektrické energie. V současné době existuje několik způsobů výroby této energie, avšak některé z nich mají negativní dopady na životní prostředí. Proto se hledají způsoby, jak tento problém vyřešit nebo alespoň eliminovat. Vyhledávají se stále nové a dostupné prostředky, kterými by se tento jev upravil a byl šetrný na okolní prostředí. Jsou to právě obnovitelné zdroje energie, které jsou pro výrobu elektrické energie ekologičtější než ty, ze kterých se tato energie získává nejběžnějším způsobem. Nejpopulárnějšími obnovitelnými zdroji jsou solární a větrné zdroje pro jejich relativně nízké pořizovací náklady, dostupnost, minimální zátěž na životní prostředí, provozní nenáročnost a zajištění samostatného nebo alternativního výkonu. Jejich problémem je však velmi nestabilní výroba energie, neboť u solárních zdrojů závisí velikost výkonu na intenzitě slunečního záření a u větrných zdrojů na rychlostech větru. Vědci z celého světa hledají vhodnou alternativu, jak tuto nestabilitu kompenzovat a jak energii uchovat pro pozdější použití, a proto se zabývají výběrem optimální akumulční technologie. Každá akumulční technologie má své pozitiva a negativa, díky kterým jsou tyto technologie aplikovatelné pouze pro specifické uplatnění.

Ve své práci se budu zabývat popisem vybraných technologií pro akumulaci elektrické energie. Jejich nejlepší variantu budu vyhodnocovat pomocí vícekritériálního rozhodování metodou WSA. Praktickým měřením budu mít možnost zjistit účinnost vodíkové technologie v laboratoři palivových článků VŠB-TU Ostrava.

1 Obnovitelné zdroje

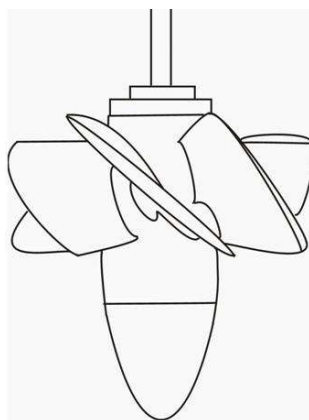
Obnovitelné zdroje energie se vyskytují v našich zeměpisných šířkách v podobě slunečního záření, energie vody, energie větru, biomasy. Využíváme tepla i z okolního prostředí, které existuje díky tomu, že na Zemi dopadá neustále energie slunečního záření. Tohoto záření se snažíme využívat z mnoha důvodů, avšak největším důvodem je, že Slunce svítí zadarmo. Přístroje, které používáme k přeměně slunečního záření, jsou v mnoha případech nákladnou investicí, ale jakmile je postavíme, dodávají elektrickou energii velmi lacino. Díky tomuto se dostávají obnovitelné zdroje energie na první příčky zájmu z důvodu cen klasických energií. Je to i tím, že nezatěžují životní prostředí.

O zvyšování energetické soběstačnosti však lze uvažovat i v menším měřítku. [28] Jde o to, že zařízení pro využití obnovitelných zdrojů zůstávají v regionech a platby za energii tak zůstanou u majitelů domů nebo ve prospěch elektráren. Pěstování biomasy je zajímavou příležitostí pro zemědělce, také i pro vlastníky rodinných domů, kteří si vyhřívají dům pomocí kotlů, anebo i slunečními kolektory.

1.1 Energie vody

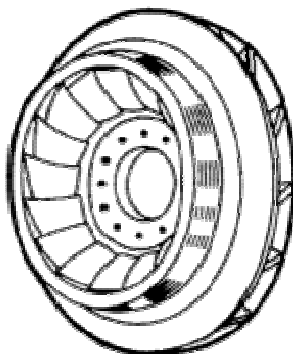
Jeden z nejdůležitějších aspektů pro život na naší planetě je voda. I touto cestou se dá vyrobit elektrická energie. Pro tuto výrobu využívají vodní elektrárny (hydroelektrárny) mechanickou energii tekoucí vody, která pohání turbínu a ta generátor. Toto soustrojí se též nazývá turbogenerátor. Ideální podmínky pro výrobu elektrické energie je prudce tekoucí, masivní toky. Ne ve všech případech je toho dosaženo, a proto zde musí zasáhnout člověk a jeho vynalézavost. Nepřízeň vodních toků lze kompenzovat použitím vhodné turbíny. Nejznámější turbíny u nás používané jsou Kaplanova, Francoisova a Peltonova.

Kaplanova turbína – má nastavitelné lopatky, díky nimž je možno rychle reagovat na změnu přítékající vody. Tato turbína dosahuje nesrovnatelně vyšší rychlosti než je rychlost proudění přítékající vody a je vhodná pro menší spády (do 50 m) s větším objemem vody. [29]



Obr. 1 Kaplanova turbína [37]

Francoisova turbína – řadí se mezi přetlakové turbíny. Znamená to, že kapalina, z pravidla voda, mění svůj tlak během své cesty strojem, kde odevzdává svou energii rotoru. Tato turbína se používá pro střední a větší průtoky a spády. Výstup z turbíny je konstruován tak, aby rychlost výstupní vody byla co nejnižší. [30]



Obr. 2 Francisova turbína [38]

Peltonova turbína – tato turbína s účinností až 95 % spadá mezi rovnotlakové turbíny. Směr průtoku kolem je tangenciální s polohou hřídele svislou, ale i vodorovnou. Používá se pro vysoké spády. [31]



Obr. 3 Peltonova turbína [39]

1.2 Biomasa

Tento významný zdroj energie je vlastně veškerá organická hmota na planetě. Pro energetiku je významná zpravidla rostlinná biomasa, neboli fytomasa, což jsou dřeva, slámy či jiné zbytky v zemědělství. Můžeme ovšem energii získávat z částečně zkvašených směsí tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat, a také ze zbytků krmiv s podílem technologické vody.

Princip tohoto procesu je uvolňování energie obsažené v chemických vazbách uhlíku, ze kterého je živá hmota tvořena. Zpracování je různé. Záleží, jaký druh biomasy zpracováváme. Nejběžnější postup je spalování při vysokých teplotách, a to buď přímé spalování biomasy, nebo spalování plynu, které z ní vzniká.

Z biomasy získáváme taky energii tepelnou, díky tomu se tak můžeme setkat i s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. [29]

Způsob využití biomasy

a) termochemická přeměna biomasy:

- spalování
- zplynování
- pyrolýza

b) biochemická přeměna biomasy:

- alkoholické kvašení
- metanové kvašení

c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:

- mechanická (drcení, lisování, štěpení atd.)
- chemická (esterifikace surových rostlinných olejů)

d) získávání odpadového tepla při zpracování biomasy (kompostování) [2]



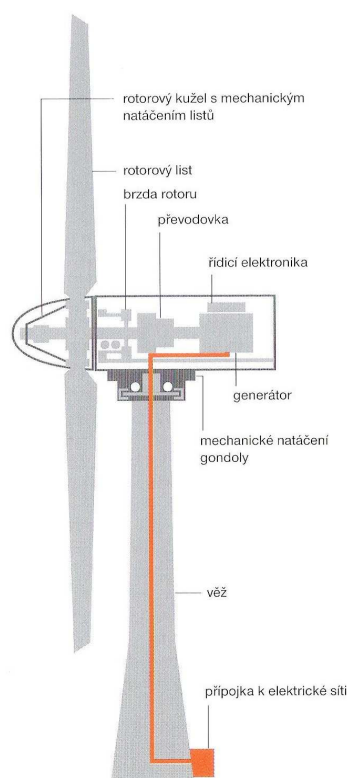
Obr. 4 Palivo biomasy [40]

1.3 Energie větru

Vznik větru je způsoben „výměnou“ teplého a studeného vzduchu. Je to dáno rozdílem atmosférického tlaku. Teplý vzduch, který má menší hustotu, stoupá vzhůru a studený vzduch se tlačí na jeho místo.

Mechanickou energii, která se později prostřednictvím generátoru transformuje na energii elektrickou, převádí pomocí aerodynamických sil větrná turbína umístěná na stožáru. Aerodynamické síly působící na listy rotoru musí mít profil tvarovaný podobně jak profil křídla letadla. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou a vyprodukovaná energie generátorem roste se třetí mocninou. Proto musíme zajistit regulaci výkonu motoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení větrné elektrárny.

[32]



Obr. 5 Větrná elektrárna [17]

Malé větrné elektrárny

Do této skupiny větrných elektráren se řadí turbíny s výkonem menším než 60 kW s průměrem vrtule do 16 m. Tuto skupinu můžeme dále rozdělit do dvou podskupin. Jedná má výkony od 2 až 2,5 kW s průměrem vrtulí do 0,5 až 3 m. Jsou především určeny pro dobíjení baterií nebo k napájení komunikačních systémů, radiových a televizních přijímačů, ledniček

a dalších elektrických spotřebičů. Druhá podskupina má výkony v rozsahu 2,5 až 10 kW s průměrem vrtule od 3 do 8 m. Pracují s napětím od 48 až 220 V, pro účely vytápění domů, ohřev vody, popř. pohon motorů.

Střední a velké větrné elektrárny

Střední větrné elektrárny jsou konstruovány na výkony v rozsahu 60 až 750 kW s průměrem vrtulí od 16 do 45 m a velké větrné elektrárny jsou pro výkony od 750 až 6 400 kW s průměrem vrtulí od 45 do 126 m. Výkony nad 3 000 kW jsou určena pro umístění v moři.

Vrtule větrných elektráren

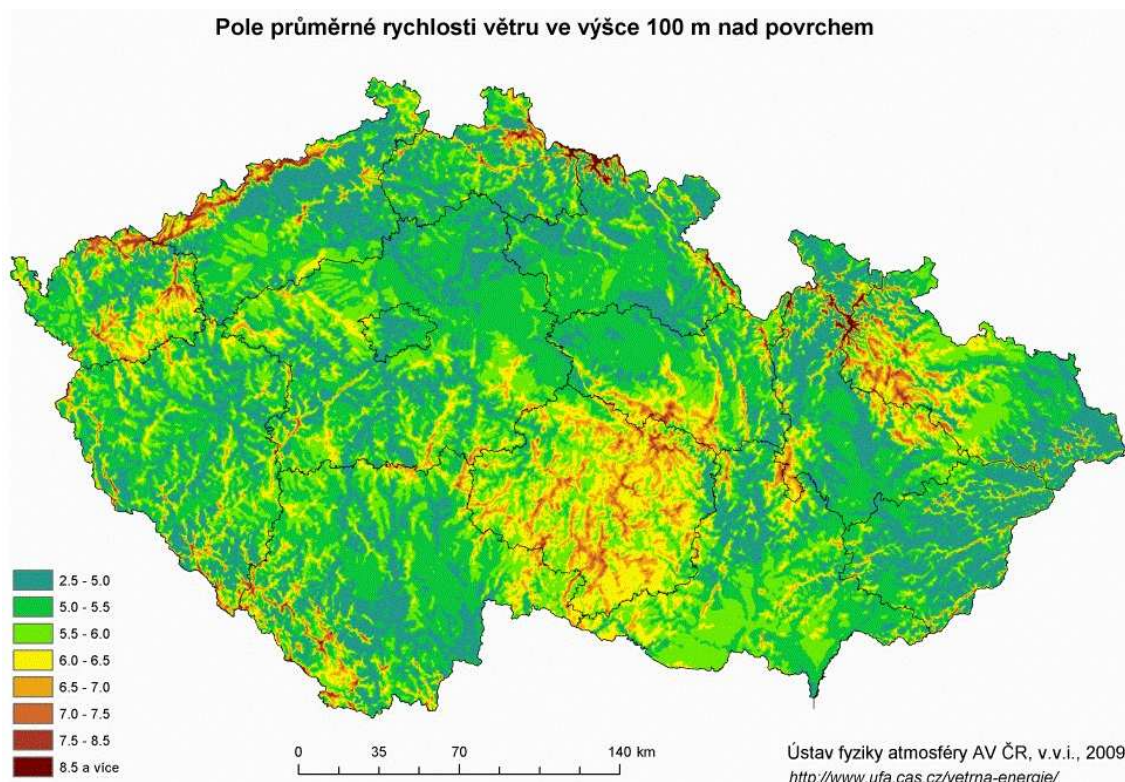
Výroba elektrické energie závisí na velikosti vrtule, tedy na jejím průměru, určujícím plochu kružnice opsané vrtulí, meteorologických podmínkách a hodnotě součinitele výkonu. Sériově vyráběné větrné elektrárny mají trojlisté vrtule, většinou s regulací „pitch“ a mají proměnlivý počet otáček. Pitch regulace je aktivní systém, který pracuje se vstupním signálem o výkonu generátoru.

K ochraně generátoru, který se může poškodit vysokou rychlostí větru, a tím pádem vysokým výkonem, musíme vhodným způsobem snížit tento výkon dodávaný vrtulí. Proto používáme různé druhy regulace výkonu vrtule, které jsou pro jednotlivé typy větrných elektráren typické. Jsou to:

- regulace odtržením proudu na listech vrtule s konstantním úhlem nastavení listů
- regulace přestavováním listů vrtule na větší úhly nastavení a tím snížení vztlakové síly a výkonu
- regulace přestavováním listů vrtule na menší úhly nastavení a tím snížení vztlakové síly, zvýšení odporu a pokles výkonu

[33]

Dle vyhlášky č. 475/2005 Sb. musí být roční průměrná rychlost větru ve výšce osy rotoru elektrárny ≥ 6 m/s. Jelikož je typická výška rotoru větrné elektrárny 100m, vytvořil Ústav atmosférické fyziky Akademie věd ČR mapu, viz (Obr. 6).

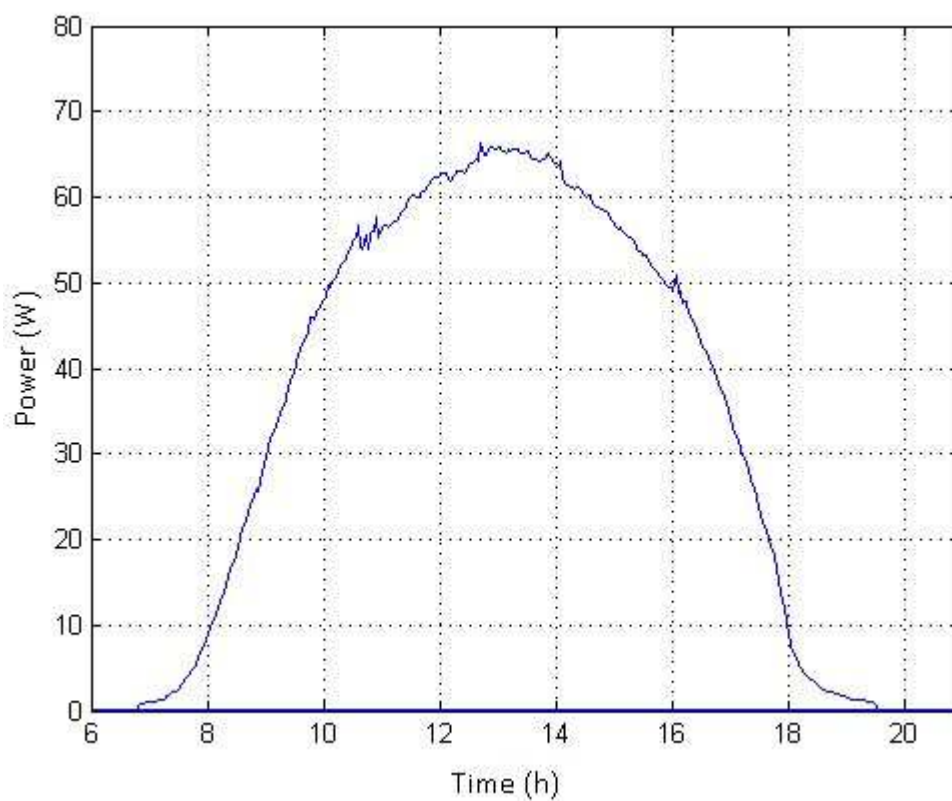


Obr. 6 Mapa průměrné rychlosti větru v ČR [6]

1.4 Sluneční energie

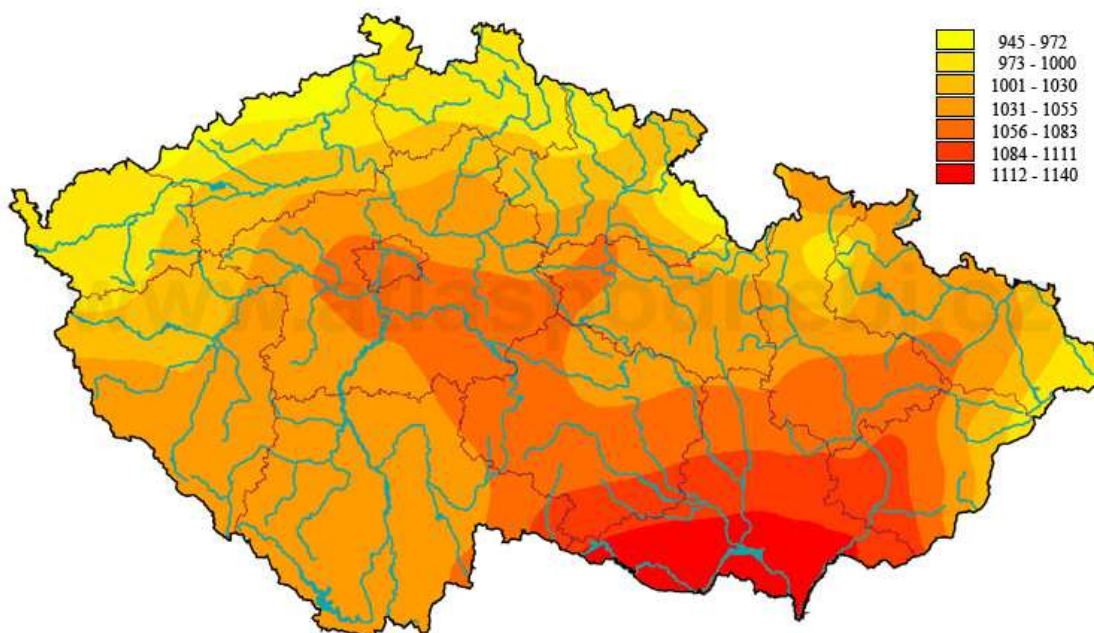
První zmínky o této přeměně energie sahají do roku 1883, kdy na světové výstavě v Paříži bylo předvedeno zařízení, které pomocí slunce a parabolického zrcadla poháněla parní stroj na tisk novin. Postupem času se toto zařízení zdokonalovalo až do dnešní doby, kdy je nejrozšířenějším a nejperspektivnějším principem proměny solární energie a elektrickou pomocí polovodičových fotovoltaických panelů. Získávání energie pomocí slunečního záření je z hlediska životního prostředí čisté a šetrné. [34], [35]

Tato energie je nám k dispozici na jakémkoliv místě. Avšak je to pro nás velmi nestabilní zdroj energie. Je značně ovlivněn na počasí, denní době, množstvím oblačnosti v daném místě, ročním obdobím. Na (Obr. 7) vidíme denní vývoj dodávky elektrické energie ze solární elektrárny, která se nachází na Technické Univerzitě v Brně. [7]



Obr. 7 Výkon fotovoltaické elektrárny v průběhu dne [7]

Intenzita slunečního záření není v České republice na všech místech stejná. Na (Obr. 8) je znázorněn rozptyl slunečního záření v ČR. [6]

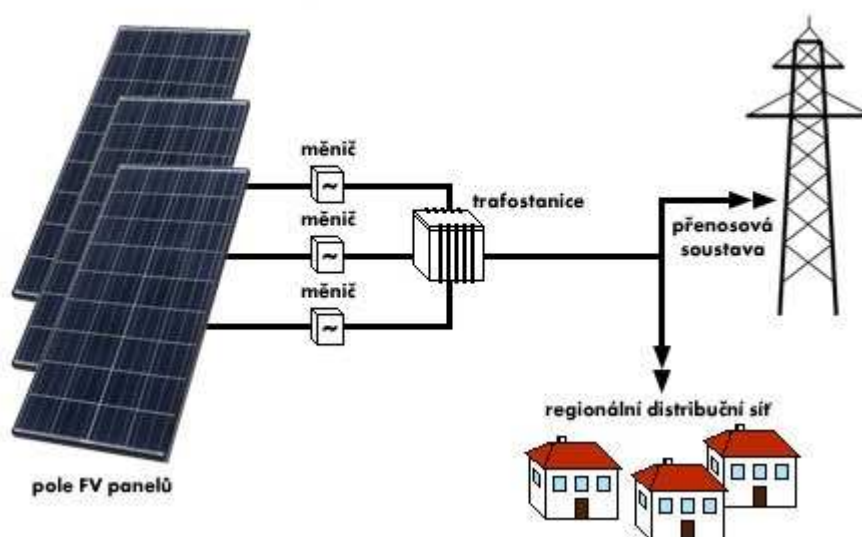


Obr. 8 Průměrný roční úhrn globálního záření v kWh/m² [6]

Jak je uvedeno výše, k výrobě elektrické energie ze slunečního záření používáme solární kolektory, či panely. Základem každého panelu jsou solární články, je to vlastně plochá polovodičová součástka, která produkuje napětí o velikosti 0,6 až 0,7 V. Při tomto způsobu přeměny dopadá na součástku sluneční záření, pomocí něhož dochází k uvolňování elektronů, které má za důsledek vznik napětí.

Fotovoltaický panel je tvořen mnoha články spojenými letovanými spoji. V dnešní době jsou tyto panely tvořeny na bázi křemíku. Křemík je značně zastoupen v zemské kůře a je nejlépe prozkoumaným polovodičem. Vrchní plocha musí být odolná proti nepříznivým přírodním vlivům, jako jsou krupobití atd. Je také důležité použít vhodný materiál pro vysokou pohltivost slunečního svitu, aby byl panel schopen ovlivnit ztráty vzniklé odrazem slunečního záření. Spodní plochu tvoří pevná deska.

[34], [35]



Obr. 9 Sluneční elektrárna [41]

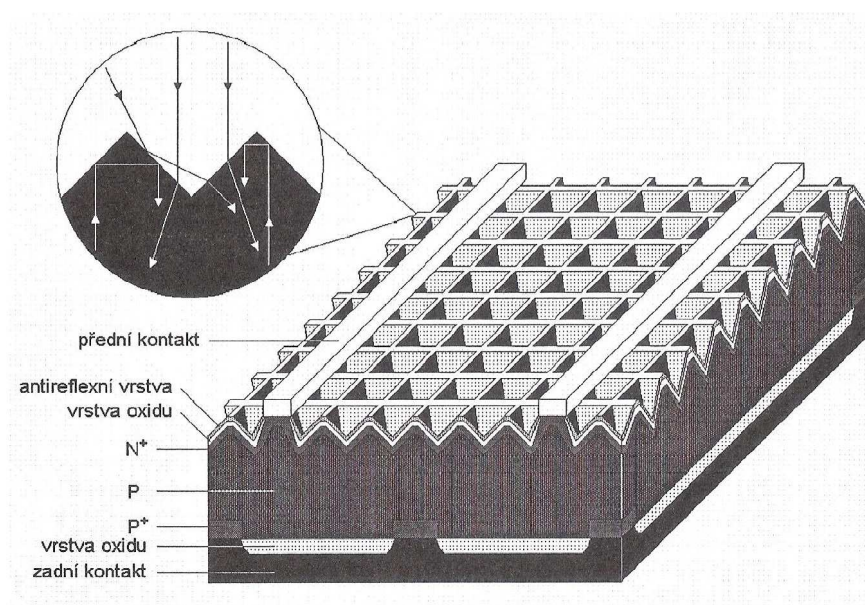
Solární článek

Solární článek funguje na principu fotoelektrického jevu. Znamená to, že částice světla (fotony) dopadají na článek a svou energií vyřadí elektrony, které díky polovodičové struktuře článku uspořádává pohyb elektronů na využití stejnosměrného proudu. Pak je možné realizovat využití s malými výkony až po výkony v MW (elektrárny). Solární článek je v podstatě polovodičová dioda, musí mít nejméně jeden PN přechod.

Jak je již zmíněno, nejvíce používané články jsou vyrobeny z křemíku ve formě monokrystalu (účinnost 14 až 17 %) a polykrystalu (účinnost 12 až 15 %). V laboratořích jsou

články s účinností až 28 %, nejlepší komerční až 20 %. Tyto hodnoty účinností jsou závislé na slunečním záření, je to tzv. „špičkový“ výkon. Článek s účinností 17 % má při ploše 1 m² „špičkový“ výkon 170 Wp.

[36]



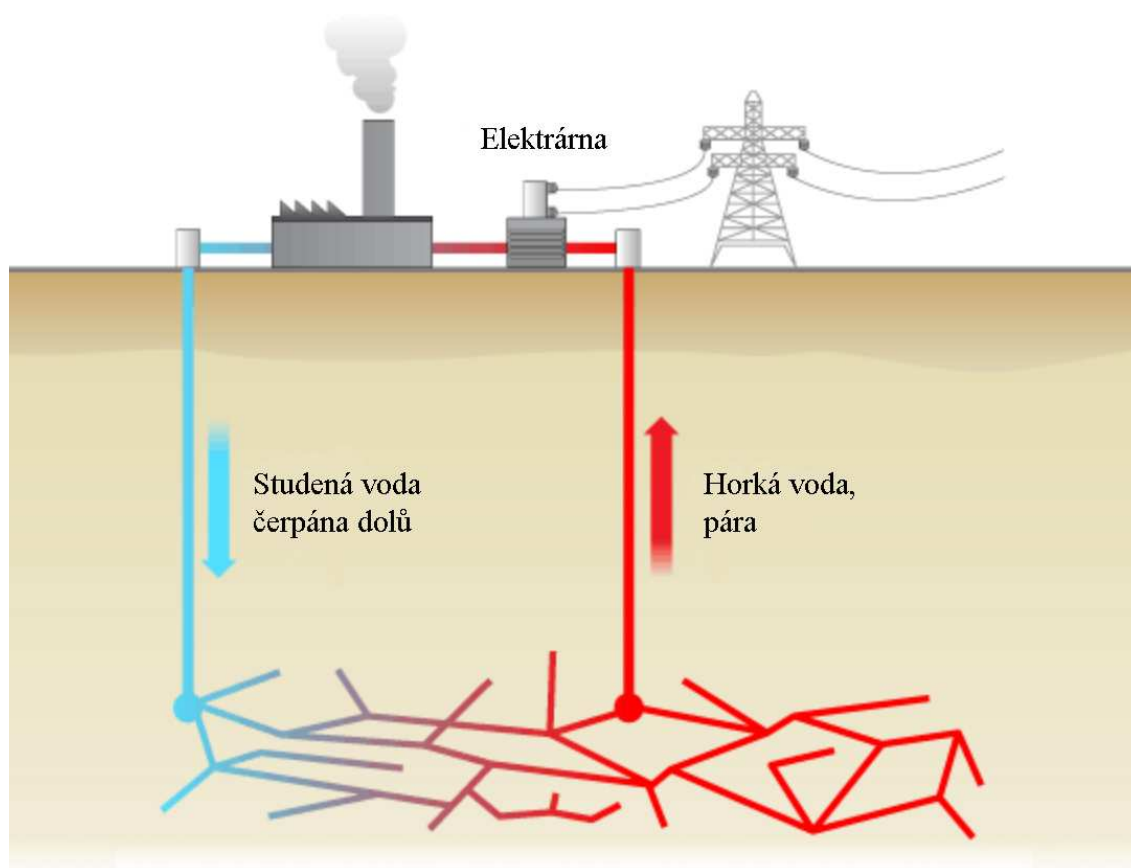
Obr. 10 Schéma polovodičového fotovoltaického článku s vysokou účinností [3]

1.5 Geotermální energie

Pochází z řeckého geo (země) a therme (teplo), je to tedy energie, kterou čerpáme z vnitra Země. Tuto energii využíváme k vytápění a výrobě elektřiny. Teplo, jenž se přenáší z vnitra Země, je ve formě vroucí vody či páry. Tato voda se v zemi dostává v podobě dešťů, ten proniká skrz puklin, kde se zahřívá a zpět na Zemský povrch proniká ve formě vroucích pramenů nebo gejzírů.

Ve světě se v těchto geotermálních elektrárnách odhaduje instalovaný výkon na 8 000 MW. Nevýhodou těchto elektráren je, že se mohou stavět jen na některých dostupných místech vhodné pro odběr vroucí vody či páry, proto je výstavba takové elektrárny je až pětikrát dražší, než jaderná elektrárna. V Evropě jsou tyto elektrárny jen zřídka, největší význam těchto elektráren je v oblastech, jako je Island. Zde se tato energie využívá k vytápění domů, ohřevu vody atd. Geotermální energie je využívána i ve Francii, na Novém Zélandu, v Kalifornii, Japonsku, Mexiku a na Filipínách, avšak v mnohem menší míře.

[44]



Obr. 11 Geotermální elektrárna [45]

2 Systémy akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů

2.1 Akumulace energie

Počet elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie v posledních letech výrazně vzrostl. Především to byly fotovoltaické elektrárny. S rozvojem těchto zdrojů se očekává také výrazná decentralizace a fragmentace energetických systémů, regulovat výrobu a spotřebu pak bude obtížné. V tomto případě by měla akumulace energie fungovat jako jakási záloha, rezerva či nárazová zóna, která bude vyhlazovat krátkodobé výkyvy výroby a spotřeby. Do těchto technologií, jako jsou baterie, setrvačníky, nebo super-kondenzátory, které dokážou tuto energii uchovat či akumulovat, investují vyspělé státy miliony dolarů.

Zkušenosti, které dosud máme, jsou omezeny na přečerpávací elektrárny. U nás nejznámější přečerpávací elektrárnou jsou Dlouhé Stráně (vybudované v letech 1976 – 1996). U těchto elektráren jde především o energii využitelnou v období vysoké spotřeby.

Patrným využitím akumulčních technologií je napodobení funkce přečerpávací elektrárny. Při současných možnostech tohoto řešení se cena elektřiny ve špičce a mimo ní nezaplátí. Náklady se musí snížit, aby se tyto technologie vyplatily k dlouhodobější akumulaci elektrické energie. S tímto požadavkem se budou muset výrobci ze solárních nebo větrných elektráren spolehnout na likvidní komoditní trhy a kvalitní předpověď počasí. Odchytky právě těmito problémy, způsobené nestálostí větru a oblačnosti jsou velké. Můžeme to řešit pouze v reálném čase, a to buď vyhlazováním dodávek do sítě, aktivací podpůrných služeb nebo posílením distribučních kapacit. V těchto směrech mají akumulční technologie velký potenciál.

[26]

Druhy akumulace

Akumulace energie je tedy proces, při kterém můžeme skladovat energii na vhodném místě, ve vhodné formě, aby byla připravena k použití ve vhodný čas v požadované kvalitě a kvantitě.

V současné době se používá několik typů akumulací. Jsou jimi:

- **kvantitativní akumulace** – z anglického výrazu „quantitative storage“. Jedná se o zásoby pevných, kapalných a plyných paliv. V literatuře se používá pojem „zásoba paliv“.
- **tepelná akumulace** – je to akumulace ve formě tepla. Této akumulace využívají tepelné akumulátory, které představují dlouhé teplovody umožňující využít akumulovanou energii pro přeměnu na jiný druh energie, zpravidla elektrické.
- **chemická, elektrochemická akumulace** – je to akumulace elektrické energie ve formě chemické energie a využívá se v chemických bateriích nebo akumulátorech. Tyto

akumulátory nebo baterie využívají přeměnu elektrické energie na energii chemickou a v případě potřeby z chemické na elektrickou.

- **mechanická akumulace** – využívá gravitační nebo kinetickou energii v zařízeních umožňujících přeměnu této energie na jinou formu pro praktické využití. Tento způsob se využívá u akumulačních vodních elektráren (AVE) a přečerpávacích vodních elektráren (PVE). PVE využívají přeměnu elektrické energie na energii potenciální, která se v případě potřeby mění na elektrickou, u AVE se jedná o běžnou mechanickou akumulaci. Akumulace ve formě kinetické energie využívají tzv. setrvačníky, které v současnosti nejsou prakticky využívány, ale uplatnění se zkoumá.
- **elektromagnetická akumulace** – tento druh akumulace je nový a v současnosti je ve stádiu intenzivního výzkumu. Je to akumulace založená na akumulaci energie formou elektromagnetického pole kolem supravodivých vodičů.

[27]

2.2 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou pro sekundární zdroj proudu nejpoužívanější. Jsou také ze všech bateriových technologií nejstarší a nejvyspělejší. Jejich kapacity se pohybují řádově od 1 až do 10 000 Ah. Pro výrobu těchto akumulátorů se spotřebuje cca 2,5 milionů tun olova. Část se získá z recyklací již vyřazených akumulátorů.

Kapacita akumulátoru se udává v ampérhodinách (Ah). Jeho schopností je dodávat energii po určitou dobu do minimální přípustné hodnoty napětí. Využitelnost kapacity je z hlediska životnosti vždy menší, protože se elektrický náboj nevybije a ponechává se v akumulátoru.

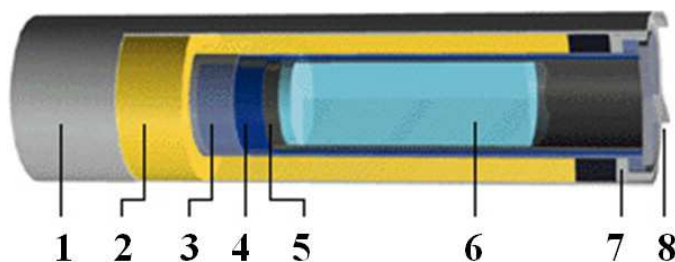
Při vybíjení dochází k mechanickému namáhání elektrod, které jsou tvořeny síranem olovnatým. V elektrolytu je při vybíjení hustota kyseliny sírové vyšší než při vybíjení v elektrodách. Rozdíl je tím větší, čím větším proudem je akumulátor vybíjen, čím jsou elektrody tlustší a čím je více akumulátor vybit. Množství elektrolytu v nádobě klesá s vybitím o 1 cm^3 na 1 Ah. [3]

Zvýšením životnosti baterie dosáhneme přidáním cca 40 % aktivního uhlí k záporné elektrodě. To má za následek zlepšení tři až čtyřikrát oproti běžným olověným bateriím. Tato prodloužená životnost spojená s malými náklady vede vývojáře k tomu, aby přehodnotili technologie pro aplikace rozvodných sítí. [9]

2.3 Sodík-Sírové baterie

Tyto baterie mají vysokou kapacitu vyvinutou systémem pro elektrické aplikace. Na kladné elektrodě této baterie je roztavená síra, na záporné elektrodě je roztavený sodík. Jsou odděleny pevným elektrolytem z keramického beta hliníku. Elektrolyt umožní pouze kladným iontům sodíku projít a spojit se se sírou a vytvoří polysulfid sodíku. Při vybíjení, kdy kladné

iony Na^+ proudí elektrolytem, elektrony proudí ve vnějším obvodu baterie a vyrábí cca 2 V. Tento způsob se může provést i opačně. Při nabíjení se kladné ionty sodíku uvolňují zpět do elektrolytu, kde se ukládá jako elementární sodík. Tato hermeticky uzavřená baterie je provozována na asi 300°C, protože jsou aktivní materiály obou elektrod likvidní a elektrolyt je pevný. Při této teplotě baterie NAS dobře funguje, protože aktivní materiály reagují rychle a vnitřní odpor je nízký. Tyto baterie mohou být použity nepřetržitě. Účinnost je asi 89 %.

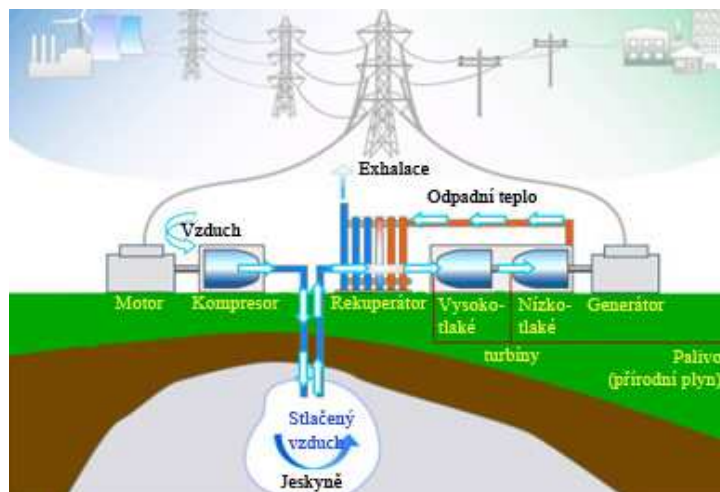


Obr. 12 NaS baterie

(1-plášť, 2-elektroda síry, 3-tuhý elektrolyt, 4-elektroda sodíku, 5-kovová vložka, 6-sodíková komora, 7-izolace, 8-terminál) [11]

2.4 CAES (Compressed Air Energy Storage) systém

Jedná se o systém stlačeného vzduchu s plynovou turbínou pro vytvoření napětí v síti podle potřeby. Stlačený vzduch v době potřeby, který se uchovává v zásobníku, roztáčí turbínu a ta dodává energii. Tento systém spotřebuje o 40 % méně plynu, než v ostatních plynových turbínách, se stejnou hodnotou požadované elektrické energie. To proto, že na rozdíl od ostatních plynových turbín, které spotřebují asi 2/3 použitého paliva na stlačení vzduchu v době výroby. Systém CAES oproti tomu využívá pro stlačení vzduchu levnou elektřinu z elektrizační soustavy mimo špičku a využije ji později společně s částí plynu na výrobu elektřiny dle potřeby. Pro prostory uschovávání stlačeného vzduchu jsou vhodné podzemní doly či jeskyně vytvořené v kamenných solích. Rozpuštění soli a vytvoření tohoto vhodného prostoru trvá v rozmezí 1,5 až 2 roky. Proto se pohybuje účinnost tohoto systému mezi 60 – 70 %.



Obr. 13 Princip CAES systému [11]

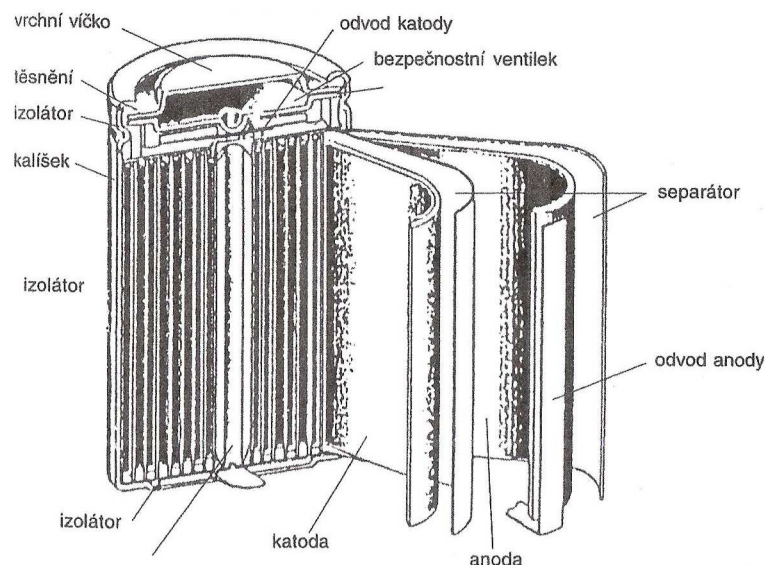
2.5 Li-ion baterie

Princip těchto baterií je takový, že se ionty Li^+ při nabíjení a vybíjení přecházejí z kladné elektrody do záporné a naopak. $LiCoO_2$, $LiMn_2O_4$ nebo $LiNiO_2$ jsou sloučeniny, které se používají na výrobu katod do Li-ion baterií pro anodu to jsou pak z grafitického uhlíku s vrstvenou strukturou.

Největšími výhodami těchto baterií jsou:

- dlouhá životnost
- malá ztráta výchozí kapacity
- vysoká měrná energie

Tyto baterie vzhledem ke své velikosti a tvaru můžeme používat ve velké škále přístrojů, jako jsou například mobilní telefony, notebooky aj.



Obr. 14 Průřez typickou Li-ionovou baterií

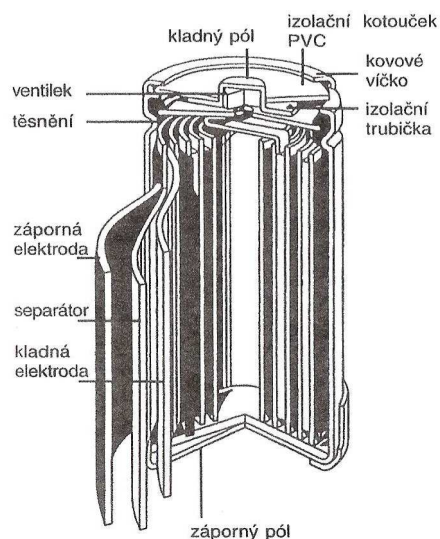
2.6 Ni-MH baterie

U této baterie je kladná elektroda na bázi sloučenin niklu, záporná ze slitiny pohlcující vodík. Pro vhodnou strukturu slitiny se musí dbát na tyto vlastnosti:

- velká skladovací kapacita pro vodík (velká vybíjecí kapacita),
- beztlakové skladování vodíku při pracovních teplotách,
- velká odolnost k oxidaci při dlouhodobém používání,
- vhodné kinetické parametry.

Články Ni-MH vyžadují, aby byl spotřebován kyslík, který se vyskytuje na kladné elektrodě ke konci nabíjení a tím se předešlo vytváření přetlaku v článku. Proto má článek vybíjecí rezervu.

Elektrody jsou stočeny do svitku pro použití do válcových článků. Jako separátor se používá netkaný materiál a izoluje kladnou elektrodu od záporné. Článek je uzavřen víčkem, to tvoří kladný vývod. Kalíšek, ve kterém se nachází svitek, tvoří záporný vývod.



Obr. 15 Konstrukce válcového Ni-MH článku [3]

2.7 Superkapacitory

Superkapacitory, nebo též superkondenzátory, mají vysokou kapacitu, řádově 1000 F. Jsou to elektrolytické kondenzátory s velkou rychlostí nabíjení a vybíjení. Elektrody jsou vyrobeny ze speciálních materiálů, např. mikroporézní aktivní uhlík, který má extrémní vlastnost povrchu a rozdíl mezi jednotlivými elektrodami je několik nanometrů. Dělicím médiem elektrod jsou polypropylenové fólie a prostor je naplněn tekutým elektrolytem. Provozní napětí superkapacitorů je 2,5 V. Další hodnoty napětí lze dosáhnout nastavením buněk.

Díky malému vnitřnímu odporu lze superkapacitor rychle vybit. Vynikající výkon zajišťuje dosáhnout několika kw/kg hmotnosti. [11]

2.8 Li-air baterie

Lithium-vzduchové baterie, zkráceně Li-air, využívají ke vzniku proudu katodu, která má za úkol dodávat kyslík pro uskutečnění chemické reakce, na které se podílí i litinová anoda a elektrolyt vytváří elektricky nabitě ionty. Tento typ baterií byl navržen v roce 1970 jako vhodný zdroj energie do elektrických vozidel. Vědeckého zájmu se tyto baterie dočkaly na konci roku 2000, kdy pokroky v technologii materiálu a rostoucí poptávky po ekologicky bezpečným a olejově nezávislým zdrojům energie zaznamenaly vzestup.

Výhodou těchto baterií je vysoká hustota uchování energie. Tato hustota dokáže uchovat až 10x víc než baterie Li-ion. Li-air baterie jsou také o mnoho lehčí než Li-ion a jsou vhodnější i do automobilů, kde může vozidlo dosahovat ujeté vzdálenosti až 800 km na jedno

nabití. Li-air baterie mají však i své nevýhody, jako je cena, ale především životnost, která je velmi nízká oproti jiným článkům. [46], [58]

Výzkum

Na anodě se zkoušelo využití organického elektrolytu a na katodě vodného elektrolytu. Oddělíme-li obě strany pevným elektrolytem, který umožní průchod pouze lithiovými ionty, nabíjení a vybíjení bude procházet hladce. V tomto systému bylo zjištěno, že při reakci vybití nevzniká látka jako lithinový oxid (Li_2O), ale lithinový hydroxid ($LiOH$), který se rozpouští ve vodném elektrolytu a tak nedochází k ucpávání pórů na uhlíkové katodě.

Nabíjení a vybíjení

Při nabíjení jsou elektrony u anody přiváděny z vodivého drátu. Ve vodnatém elektrolytu katody prochází lithinové ionty (Li^+) skrz pevný elektrolyt a usazují se u anody, kde se metalické lithium shromažďuje. U katody se vytvořené elektrony kyslíku vedou do vodivého drátu.

Při vybíjení na straně anody se lithiové ionty rozpustí do organického elektrolytu a elektrony jsou přiváděny do vodivého drátu. Rozpuštěné lithiové ionty (Li^+) prochází skrz pevný elektrolyt do vodnatého elektrolytu na stranu katody. U katody jsou tyto elektrony přiváděny z vodiče. Na povrchu katalyzátoru se kyslík ze vzduchu a redukční reakce v propustném uhlíku vyrábí hydroxylové ionty (OH^-). Ve vodnatém elektrolytu se produkuje vodou rozpustný lithiový hydroxid ($LiOH$), ve kterém se střetávají hydroxylové a lithiové ionty.

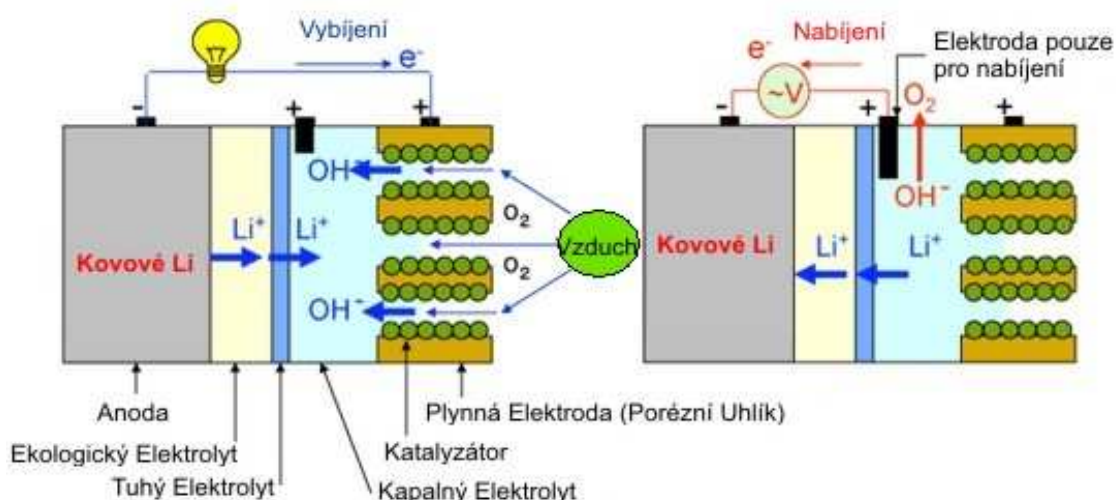
Reakce:

Na anodě:



Na katodě:





Obr. 16 Princip Li-air akumulátoru [47]

2.9 Setrvačníky

Jsou to nejstarší akumulátory energie, které se vyskytovaly již několik tisíc let před naším letopočtem. K akumulaci energie se používají mechanické akumulátory, též setrvačníky, které využívají své kinetické energie. Kinetická energie akumulována v setrvačnicku je dána vztahem:

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2, \text{ kde je} \quad 2.3$$

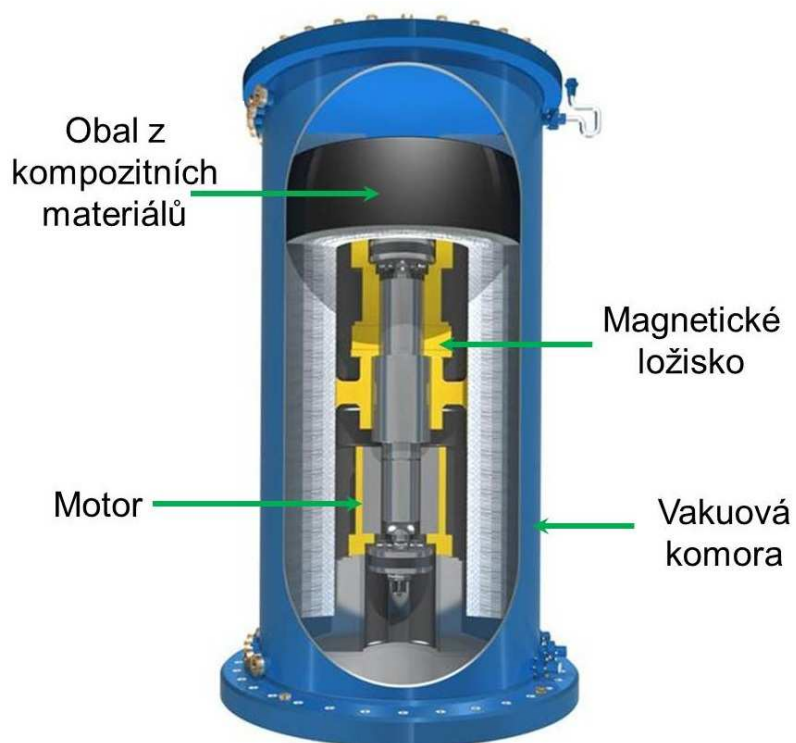
J ... moment setrvačnosti

ω ... úhlová rychlost setrvačnicku

Energii dokáže odevzdat prakticky ihned. Zpoždění se zde počítá na zlomky sekundy. Nejjednodušší využití k akumulaci elektrického výkonu se využívá upevněním co nejtěžšího setrvačnicku na hřídel elektromotoru. Při odběru se chová elektromotor jako dynamo nebo alternátor.

Setrvačnickových akumulátorů využíváme jednak s velkou hmotností konstruované tak, aby bylo dosaženo co největšího momentu setrvačnosti pracující při otáčkách do $8\,000\text{ min}^{-1}$, anebo naopak s malou hmotností pracujících při otáčkách až do $100\,000\text{ min}^{-1}$. Pro eliminaci tření se setrvačnick nachází ve vakuu a může být ještě magneticky nadnášen díky uložení v magnetických ložiskách.

Součástí rotoru jsou i elektromagnety, které ho roztáčejí, nebo brzdí. Pro jeho vysoké kvality lze setrvačnick nasadit i do kosmu, kde nejen plní funkci akumulace, ale i stabilizaci tělesa v beztlakovém stavu. Setrvačníky se vyrábějí pro systémy záložního napájení s výkonem od několika kW až do zhruba 1 MW. Toto zařízení může fungovat jako krátkodobá záloha nebo jako součást většího systému. [10], [48], [49]

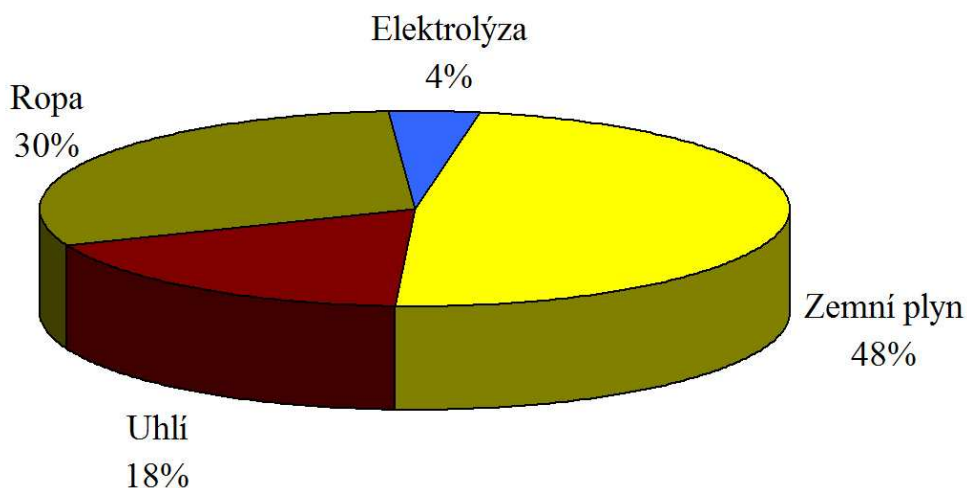


Obr. 17 Setrvačník [59]

2.10 Vodíková technologie

Jako další zdroj energie používáme vodík, kterého máme kolem sebe dostatek. Jeho převážná část se vyskytuje ve vesmíru. Je to velice ekologický a efektivní systém zásobování energie. Vodík se vyrábí především ze zemního plynu. Jen malé množství vodíku se vyrobí z čisté elektrolýzy, kde je voda rozložena na vodík a kyslík za přívodu elektrické energie. Výroba vodíku za rok ve světě je cca 55 milionů tun. Podrobněji viz následující obrázek.

[50]



Obr. 18 Způsoby výroby vodíku

Výroba vodíku elektrolýzou

Při tomto procesu dochází k přeměně vody na vodík a kyslík pomocí dodávané elektrické energie z různých zdrojů. V dnešní době se na výrobu vodíku používá obnovitelných zdrojů. To proto, aby se eliminovalo znečištění ovzduší. V laboratoři VŠB - TU Ostrava se k výrobě vodíku využívá elektrická energie vyráběná solárními panely, které jsou zapojeny serio-paralelně. Vodík je při tomto procesu velice čistý.

Množství vyrobeného vodíku závisí na hustotě proudu, to znamená, že čím je větší proud na ploše elektrody, tím musíme mít větší zdroj napětí. Z toho vyplývá velké energetické náklady na jednotky vodíku. Energetická účinnost se pohybuje v rozmezí 65 až 80 %, s proudovými hustotami kolem 2000 A/m².

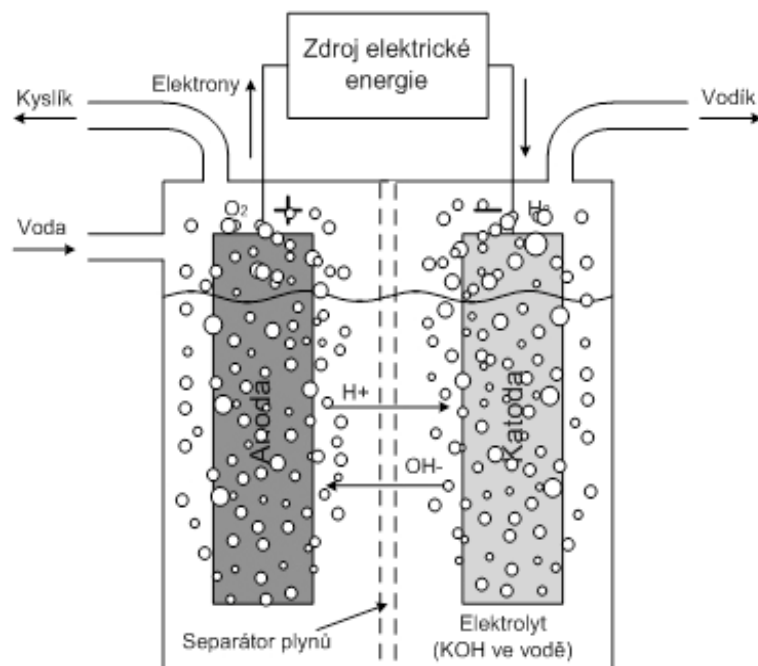
Pro rozklad vody je třeba, aby mělo napětí minimální hodnotu 1,23 V při teplotě 25°C, to proto, aby vůbec mohla probíhat reakce tepelné energie. Pokud zachováme stejnou teplotu, tedy 25°C a zvýšíme napětí na 1,47 V, průběh reakce není zapotřebí.

Elektrolyzátor je vybaven kladnou a zápornou elektrodou, které jsou ponořené do elektricky vodivé vody. Vodivost je dosažena přidáním vodíkových či hydroxylových iontů (hydroxidů), které jsou nejčastěji ve formě alkalického hydroxidu draselného (KOH).

Materiál kladné elektrody neboli anody je z mědi nebo niklu. Povrch této elektrody je pokryt prvky manganu, wolframu nebo rutheniu. Kovy anody umožňují výskyt atomárního kyslíku, které se rychle párují do kyslíkových dvojic.

Záporná elektroda neboli katoda se nejčastěji vyrábí z niklu, který se pokrývá malým množstvím platiny. Platina umožňuje u povrchu elektrody rychlé párování atomárního vodíku do vodíkových párů. Bez přítomnosti platiny by se mohl atomární vodík nahromadit na elektrodě a blokovat tak průchod elektrického proudu.

Membrána zabráňuje promísení vodíku a kyslíku při současném umožnění průchodu iontů. Vyrábí se nejčastěji z azbestu, který je způsobilý ubránit se teplotám nad 80°C. [57]



Obr. 19 Elektrolyzér [57]

Elektrolyzéry se liší podle jejich uspořádání elektrod a elektrolytu. Základními druhy vodních elektrolyzérů jsou:

- Alkalické elektrolyzéry – elektrolyza z roztoku hydroxidu draselného,
- PEM elektrolyzéry – membránová elektrolyza,
- SOFC elektrolyzéry - na bázi pevných oxidů.

2.11 Palivové články

Palivové články jsou elektrochemické zařízení, které přeměňují energii chemickou na energii elektrickou. Elektřina se v palivovém článku vyrábí obdobným způsobem jako elektřina v bateriích, tedy elektrochemickou cestou. Přiváděné palivo se zpracovává podobně jak palivo ve spalovacím motoru. Palivové články narozdíl od spalovacích motorů nespalují palivo, proto nepotřebují dobíjet, jejich chod je tichý a účinnost je vysoká. Při použití vodíku jako paliva, se produkuje pouze elektřina a voda, což vede k jednoduché konstrukci bez pohyblivých částí, vyšší spolehlivosti a delší životnosti článků. [16]

Technologii palivových článků srovnáváme s technologiemi používanými v sektoru energetiky a dopravy. V těchto sektorech mohou být palivové články nahrazeny za stávající technologie. V energetických centrálách, kde je elektrická energie vyráběna pomocí spalování fosilních paliv, anebo technologie spalovacích motorů, která se využívá jak v dopravním tak energetickém sektoru. V těchto případech jde o přeměnu energií pomocí spalování fosilních paliv.

Mezi základní aspekty směřujícím k velké poptávce palivových článků je účinnost přeměny chemické energie na elektrickou a také nesrovnatelně nižší až nulovou emisí

škodlivých plynů do atmosféry, zejména skleníkových plynů, které vznikají při spalování fosilních paliv. [14]

Z následující tabulky je zřejmé, že se palivové články se liší povahou použitého elektrolytu, provozní teplotou a způsobem využití.

Tab. 1 Typy palivových článků

	Nosič náboje	Provozní teplota	Použití
Alkalický PČ (AFC)	Hydroxidové ionty OH^-	50 až 200°C	Vesmírné technologie
PČ s protonovou membránou (PEMFC)	Proton vodíku H^+	30 až 100°C	Dopravní prostředky
PČ s přímým zpracováním methanolu (DMFC)	Proton vodíku H^+	20 až 90°C	Přenosná elektronika
PČ s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC)	Proton vodíku H^+	220°C	CHP systémy okolo 200kW
PČ s elektrolytem na bázi tekutých uhličitánů (MCFC)	Uhličitánové ionty CO_3^{2-}	650°C	CHP zařízení o výkonech nad 1MW
PČ s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOFC)	Kyslíkové ionty O^{2-}	500 až 1000°C	Všechny CHP systémy

Vysvětlivky:

PČ... palivový článek

CHP... kombinované palivové články s výkony v řádech stovek kW (combined heat and power)

[16]

Palivový článek s elektrolytem na bázi uhličitánů (MCFC)

Tento článek patří do skupiny vysokoteplotních palivových článků, které pracují s teplotami vyššími jak 600°C. Elektrolyt v tomto článku je schopný vést uhličitánové ionty (CO_3^{2-}) od katody k anodě.

Elektrolyt je složen z uhličitanu lithia (Li_2CO_3) a uhličitanu draselného (K_2CO_3). Směs těchto uhličitánů je udržována v keramické podpůrné krystalické mřížce hlinitanu lithia ($LiAlO_2$) pomocí kapilárních sil.

Materiál anody tvoří slitiny niklu, nejčastěji s chromem (*Cr*) a hliníkem (*Al*), katoda je pak tvořena oxidy niklu s příměsí lithia (*Li*). Tyto články pracují s tlaky v rozsahu 1 až 10 barů relativních. Konstrukce těchto článků je desková. [14]

Reakce:

Na katodě:



Na anodě:



[51]

Výhody:

- podpora samovolného vnitřního reformingu lehkých uhlovodíkových paliv,
- výroba vysokopotenciálního tepla,
- vysoká kinetika (reakce probíhají rychle) a účinnost reakce,
- nepotřeba katalyzátoru z ušlechtilého kovu.

Nevýhody:

- vysoká citlivost na přítomnost síry,
- mají tekutý elektrolyt, což přináší problémy s manipulací článku za chodu,
- požadují značně dlouhou dobu na rozezhřátí (dlouhý rozběh).

Palivový článek s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOFC)

Palivový článek, který vede kyslíkové ionty O^{2-} od katody k anodě, patří také do skupiny vysokoteplotních palivových článků.

Funkci elektrolytu obstarává tuhá látka neboli iontově vodivý keramický materiál. Nejčastější materiál, který se používá jako elektrolyt, je oxid zirkoničitý (ZrO_2) stabilizovaný oxidem yttria (Y_2O_3).

Anody bývají převážně konstruovány ze směsných keramicko-kovových sintrovaných materiálů na bázi niklu (*Ni*) a oxidu yttria (Y_2O_3). Katody jsou vyrobeny z materiálu $LaMnO_3$ dopovaného stronciem (*Sr*).

Reakce:

Na katodě:



Na anodě:



Výhody:

- pracují stejně dobře jak s vlhkými tak i suchými palivy,
- vyrábějí vysokopotenciální odpadní teplo,
- mají velkou kinetiku (rychlý průběh) a vysokou účinnost chemické reakce,
- mohou pracovat s vyšší proudovou hustotou než MCFC články,
- mají pevný elektrolyt, díky čemuž se vyhýbají problému s manipulací tekutin,
- mohou být vyrobeny v rozličných tvarech a uspořádáních,
- nepotřebují katalyzátor z ušlechtilých kovů.

Nevýhody:

- citlivost na přítomnost síry v palivu,
- technologie SOFC článků ještě není dostatečně vyspělá.

Palivový článek s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC)

Narozdíl od článků MCFC a SOFC, vedou články PAFC vodíkové ionty (H^+) od anody ke katodě a patří do skupiny nízkoteplotních článků. Elektrolytem je zde, jak je patrné z názvu, tekutá kyselina fosforečná, jenž má krystalickou mřížku tvořenou karbidem křemíku (SiC).

Tyto články pracují při teplotách od 150°C do 220°C a tlakem okolo 1 baru relativního.

Reakce:

Na anodě:



Na katodě:



Výhody:

- jsou schopny snést vysoký obsah oxidu uhličitého v palivu (až 30 %),
- pracují při nízkých provozních teplotách,
- mají stálé charakteristiky elektrolytu.

Nevýhody:

- jsou schopny snést pouze 2 % obsahu oxidu uhelnatého v palivu,
- umožňují produktové vodě vstupovat do elektrolytu a zředovat jej,
- jsou velké a těžké,
- musí být zahřány předtím, než budou uvedeny do provozu, či musí být trvale udržovány na provozní teplotě.

[14], [51]

Palivové články s protonovými membránami (PEMFC)

Tyto články vedou stejně jak článek PAFC vodíkové ionty (H^+) od anody ke katodě. Účinnost tohoto procesu bývá v laboratořích až 60 %, v reálných podmínkách pak 35 až 50 %, záleží na zatížení a typu článku. Jejich elektrolytem je perfluorovaný polymer kyseliny sulfonové. Elektrody jsou potaženy vrstvami platiny, která plní funkci katalyzátoru. Články PEM jsou také nízkoteplotní, a tudíž se jejich pracovní teplota pohybuje od 50°C do 100°C, při tlaku 1 až 2 bary.

Reakce:

Na anodě:



Na katodě:



Výhody:

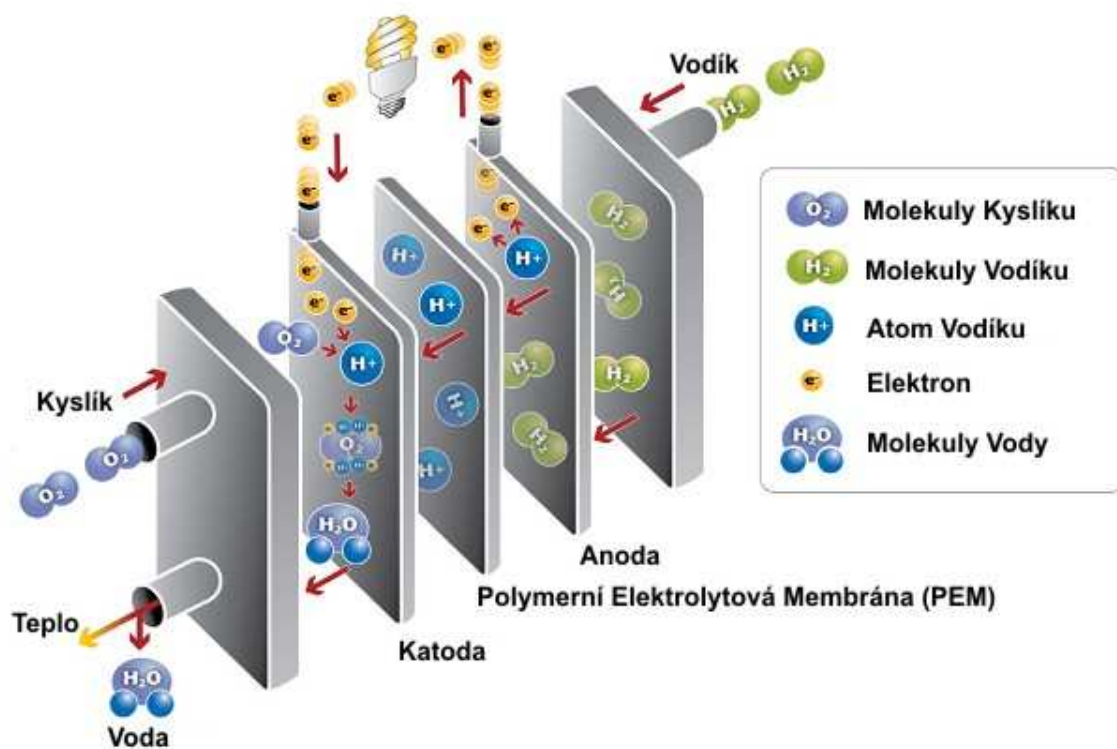
- dobře snášejí vysoký obsah oxidu uhličitého jak v palivu, tak i v okysličovadlu,
- mají vysoké napětí, vysokou proudovou a energetickou hustotu,
- pracují při menších tlacích, což zvyšuje jejich bezpečnost,
- jsou kompaktní a mechanicky odolné, konstrukčně jednoduché.

Nevýhody:

- jsou citlivé na obsah oxidu uhelnatého v palivu,
- vyžadují zvlhčování reakčního plynu,
- drahé platinové katalyzátory a membrány.

Principem palivového článku PEM, jež vidíme na obrázku (Obr. 20), jsou vodíkové ionty (H^+) procházející elektrolytem z anody na katodu, kde jeho elektrony jsou nuceny přejít přes vnější elektrický obvod. Voda vytvořená v článku shromažďující se u katody musí být z článku nepřetržitě odváděna.

[14], [11]

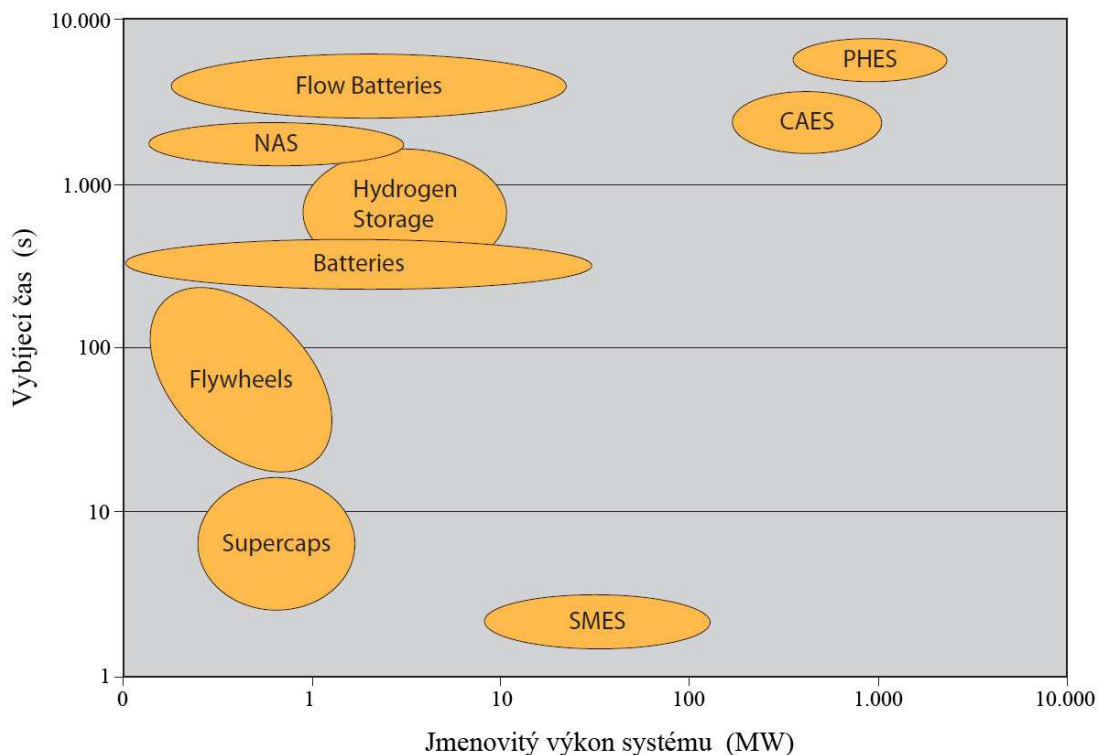


Obr. 20 PEM článek [56]

3 Posouzení alternativ vybraných systémů akumulace

Pro akumulaci elektrické energie existuje mnoho technologií. Supravodivé magnetické akumulátory energie (SMES) nebo setrvačníky běžně používáme na krátkou dobu. Vysokokapacitní systémy, jako jsou baterie, mají malý výkon. Vysokého výkonu s dlouhou dobou dosahují přečerpávací vodní elektrárny (PHES) nebo systémy na stlačený vzduch (CAES), které jsou závislé na umístění. NAS baterie mají jiné podmínky pro vysoký výkon a dlouhou dobu vybíjení, než jaké mají vodní elektrárny či CAES systémy. Je to provozní teplota, která se pohybuje kolem 300°C, což je při dlouhodobé akumulaci nevhodná. Zvětšení Sodík-sírových baterií je nákladnější než zvětšení průtokových baterií. Baterie NaS jsou proto lépe použitelné pro jejich malý rozměr než průtočné baterie.

Obrázek ukazuje srovnání různých typů akumulace elektrické energie.



Obr. 21 Alternativy akumulace elektrické energie [15]

Flow batteries... průtočné baterie

NAS... Sodík-sírové baterie

Hydrogen storage...skladování vodíku

Batteries... baterie

Flywheels... setrvačníky

Supercaps... superkapacitory

PHES... přečerpávací elektrárny

CAES... systémy pro výrobu energie pomocí stlačeného vzduchu

SMES... supravodivé magnetické akumulátory

Tab. 2 Výhody a nevýhody systému akumulace [13], [23], [25], [52], [53]

Systém akumulace	Výhody	Nevýhody
Olověné akumulátory	<ul style="list-style-type: none">• vysoká kapacita• dlouhá životnost• minimální samovybíjení	<ul style="list-style-type: none">• vysoká hmotnost• velké rozměry• neekologické
Sodík-Sírové akumulátory	<ul style="list-style-type: none">• vysoká účinnost nabíjení• vysoká specifická energie• životnost	<ul style="list-style-type: none">• vysoké teploty
CAES systém	<ul style="list-style-type: none">• využití podzemních dolů, jeskyň• šetrný zásah do přírody	<ul style="list-style-type: none">• velké ztráty energie při stlačování vzduchu
Li-ion akumulátory	<ul style="list-style-type: none">• vysoká kapacita• nízká hmotnost• minimální samovybíjení	<ul style="list-style-type: none">• delší doba nabíjení• neschopnost dodávat vysoké proudy
Ni-MH akumulátory	<ul style="list-style-type: none">• vyšší kapacita• rychlé nabíjení• šetrnější k životnímu prostředí	<ul style="list-style-type: none">• samovybíjení• nízký počet nabíjecích cyklů
Superkapacitory	<ul style="list-style-type: none">• velmi vysoké úrovně nabíjení a vybíjení• malá degradace v tisících nabíjení a vybíjení• vysoká účinnost	<ul style="list-style-type: none">• nižší množství energie na hmotnost• napětí je závislé na množství energie
Li-air akumulátory	<ul style="list-style-type: none">• velká hustota energie• katoda je ve formě vzduchu	<ul style="list-style-type: none">• omezený počet nabíjecích cyklů• při provozu produkují oxid lithia
Setrvačníky	<ul style="list-style-type: none">• vysoká spolehlivost• dlouhá životnost• vysoký měrný výkon• velmi nízká údržba	<ul style="list-style-type: none">• velké ztráty energie• speciální drahé ložiska• vibrace

4 Návrh kritérií pro srovnání vybraných systémů akumulace

Pro správně řešený návrh musíme vytvořit několik alternativ, pomocí nichž můžeme hodnotit a srovnávat tu variantu, která je pro danou problematiku optimální. Vzhledem k vývoji musíme taky dbát na to, kdy bude projekt uveden do provozu a jaká je doba životnosti tohoto zařízení. Proto je důležité, aby zpracování alternativ dosahovalo co nejlepšího výsledku a tím i co nejlepšího řešení. Zpravidla bývá nemožné, aby jediné řešení bylo to nejlepší.

K tomu, abychom se dopracovali k co nejlepšímu řešení, nemá význam vytvářet nespočet návrhů, postačí nám takové řešení, které je účelné a realizovatelné. Musíme vybírat z důležitých aspektů, které jsou pro nás nejdůležitější, a tím se počet alternativ výrazně zmenší.

Z řady alternativ je nutno vybrat řešení, jehož parametry a vlastnosti nejvhodnějším způsobem splňují zadané požadavky, tj. požadované funkce. [1] Ta funkce, která nesplňuje alespoň jeden bod, je pro projekt nevhodná. Ostatní je třeba posoudit a určit, aby řešení bylo co nejlepší.

Základní dělení způsobů rozhodování:

a) Subjektivní rozhodování

Tento způsob rozhodování se používá za intuitivním rozhodnutím a na profesionálním citu. Vzniká podvědomě jako nejlepší řešení na základě zkušeností z praxe. Rozhodnutí je osobní a závisí na okamžitém rozhodnutí, při kterém nejsou dostatečně dostupné všechny možnosti, jenž vedou k možnosti výskytu chyb.

b) Objektivní rozhodování

Objektivní způsob rozhodování je velmi přesný. Řeší se pomocí matematických vztahů. Pracuje se s kvantitativními vztahy, kvalitativní stránky problémů je nutno převést na kvantitativní, nebo od nich při rozhodování upustit. [1] Tato metoda vzhledem ke svému množství používaných vztahů není vhodná.

Metoda rozhodovací analýzy

Je to souhrn subjektivního a objektivního rozhodování. Využívá znalosti a zkušenosti řešitelů, kteří hledají alternativní a optimální řešení. Lze použít tyto způsoby hodnocení a porovnávání alternativ:

- a) **Srovnání předností a nevýhod** – posuzuje, zda alternativa řeší požadované funkce
- b) **Bodové hodnocení** – je doplněný předchozí způsob o body, které jsou přidělovány k dané funkci, čím má funkce více bodů, tím lépe
- c) **Pořadí důležitosti** – nejvíc důležitých funkcí je pro alternativu nejlepší

- d) **Váhové hodnocení** – na základě závažnosti funkcí a počtu bodů, které alternativy dosahují při plnění jednotlivých funkcí, se stanoví pro každou alternativu její bodová hodnota.

$$E = \frac{\sum v_f \cdot b_f}{c}, \quad 4.1$$

Kde E ... poměrná efektivní hodnota

v_f ...váha funkce

b_f ... počet bodů dosažených plněním dané funkce

c ...investiční náklady na realizaci řešení [1]

4.1 Návrh kritérií

Pro porovnání jednotlivých systémů akumulace je potřeba stanovit kritéria, které jsou pro toto srovnání vhodné. Vybrané systémy a stanovené kritéria jsou uvedeny v Tab. 3.

Akumulace se zavádí pro zajištění spolehlivé a kvalitní dodávky elektrické energie pro spotřebitele, ale také pro pohotovou reakci na vzniklé problémy způsobené nahodilými přírodními vlivy. Vybrané systémy jsou vhodné pro lokální oblasti. Další využití těchto systémů slouží pro uložení energie u obnovitelných zdrojů, jako jsou větrné či fotovoltaické elektrárny, které mohou nahrazovat potřebnou energii.

Tab. 3 Hodnoty k výpočtu [11], [18], [19], [20], [22], [23], [24], [25]

Kritéria Systémy	Účinnost (-)	Cena (Kč/kW)	Výkon (MW)	Životnost (roky)	Náklady na energii (Kč/kWh)
Olověné baterie	0,85	32970	20	8	2842 ¹
Sodík-sírové baterie	0,7	35054	35	15	4737 ¹
Li-ion	0,85	75792	5	15	9474 ¹
Ni-MH	0,65	55000 ²	0,5	15	11369 ¹
PEM technologie	0,3	328426	10	0,25 ³	284 ¹

¹ Cena je vypočítána dle ČNB ke dni 18.4.2012

² Cena Ni-MH je obtížně zjistitelná, proto jsem ji stanovil aritmetickým průměrem ze dvou mezních hodnot olověných a Li-ion baterií

³ je životností pouze polymerické iontoměničové membrány, po jejíž výměně je možné zařízení provozovat dále.

Saatyho metoda

Tato metoda je pro volbu vah nejčastěji používána. Používá se např. v postupu Analyticko Hierarchickým Procesem (AHP). Je to lineární struktura obsahující s-úrovní, kde každá zahrnuje několik prvků. Uspořádání těchto úrovní hierarchické struktury odpovídá uspořádání od obecného ke konkrétnímu. Obecnější prvky zaujímají vyšší úroveň. Prvky po sobě následující jsou v určitých vazbách (nadřízené – podřízené). To znamená, že prvky na úrovni $(i+1)$ jsou ovlivňovány nebo přímo řízeny na předcházející úrovni i .

V Saatyho metodě se srovnávají kritéria a hodnocení se ukládá do matice $S=(s_{ij})$ podle systému:

$$(s_{ij}) = \begin{cases} 1 & i \text{ a } j \text{ jsou rovnocenná} \\ 3 & i \text{ je slabě preferováno před } j \\ 5 & i \text{ je silně preferováno před } j \\ 7 & i \text{ je velmi silně preferováno před } j \\ 9 & i \text{ je absolutně preferováno před } j \end{cases} \quad 4.2$$

Mezistupně nabývají hodnot 2, 4, 6, 8, jelikož je kritérium rovné samo sobě, je $s_{ii}=1$ a pro všechna i musí platit $s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}}$. Hodnota s_{ij} je přibližný poměr vah kritéria i a j $s_{ij} \approx \frac{v_i}{v_j}$ [54], [4]

Abychom mohli sestavit Saatyho matici, musíme si nejdříve určit srovnání kritérií. Váhy jednotlivým kritériím jsem stanovil v závislosti na jejich důležitosti následovně:

- | | |
|----------------------|---|
| - Účinnost | 8 |
| - Cena | 4 |
| - Výkon | 3 |
| - Životnost | 5 |
| - náklady na energii | 7 |

Na základě takto stanovených důležitostí kritérií jsem vypočetl Saatyho matici, viz Tab. 4.

Tab. 4 Vztahy mezi kritérii

<i>Kriterium</i>	Účinnost	Cena	Výkon	Životnost	Náklady na energii
Účinnost	1	2	2,667	1,6	1,143
Cena	0,5	1	1,334	0,8	0,571
Výkon	0,375	0,75	1	0,6	0,429
Životnost	0,625	1,25	1,667	1	0,714
Náklady na energii	0,875	1,751	2,331	1,401	1

Pomocí programu Mathcad 14 jsem vypočítal tuto matici, ze které jsem dostal hodnoty vah znázorněné v následující tabulce, viz Tab. 5.

Tab. 5 Váhy kritérií

Kriterium	v_i
Účinnost	0,296
Náklady na energii	0,259
Životnost	0,185
Cena	0,148
Výkon	0,111

5 Vyhodnocení optimální varianty akumulace

Pro vyhodnocení optimální varianty akumulace používáme různé metody vicekriteriálního rozhodování neboli také multikriteriální analýzu (MCA). Spadají zde různé druhy úloh, a proto není zcela možné najít univerzální teorii, která by byla vhodná pro všechny typy úloh.

Obecný postup vicekriteriálního hodnocení předpokládá, že máme k dispozici alespoň dvě varianty řešení. I za předpokladu, že toto není splněno, jde o případ, který je v praxi poměrně častý a to případ jednovariantního vicekriteriálního hodnocení, jehož cílem je vytvoření určitého typu stanoviska k předložené variantě.

Úplností soustavy kritérií odrážející podstatné vlastnosti varianty multikriteriálního hodnocení variant úzce souvisí se stanovením vah kritérií. Úplnost soustavy kritérií je třeba uvažovat i při vlastním hodnocení s nestejnou závažností jednotlivých kritérií a taky s nestejným významem pro daný účet. Váhy kritérií se mohou stanovit před nebo po provedení dílčího hodnocení variant, a to po úpravě získaných výsledků. Výsledným hodnotám zmiňovaných vah kritérií byla věnována předchozí kapitola.

Metody vicekriteriálního rozhodování jsou:

- Metoda váženého součtu (WSA – Weighted Sum Approach)
- Metoda ideálních bodů (IPA – Ideal Points Analysis)
- Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
- Metoda shody a neshody (CDA – Concordance Discordance Analysis)
- Metoda AGREPREF (Aggregation Preferences)
- Metoda PROMETHEE (Preference Ranking Organization METod for Enrichment Evaluation)

[1]

Pro výpočet multikriteriální analýzy jsem v tomto případě zvolil metodu WSA. K vyhodnocení konkrétních variant akumulace jsem použil program MCA8, jenž je určen pro vicekriteriální rozhodování, nabízející řešení matematických metod uvedených výše. Výsledky jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.

5.1 Metoda WSA

Tato metoda vychází z principu maximalizace užitku, ovšem zjednodušení je v tom, že předpokládá pouze lineární funkci užitku. Výpočty jsou zde dobře zvládnutelné i ručně. K získání kritériální matice $R=(r_{ij})$ používáme matici $Y=(y_{ij})$ (5.1), ze které získáme prvky a transformačních vztahů (5.2) a (5.3).

$$Y = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & \cdots & f_j \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_i \end{matrix} & \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{pi} & y_{p2} & \cdots & y_{pk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad 5.1$$

$$\text{- pro maximalizační kritérium } r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad 5.2$$

$$\text{- pro minimalizační kritérium } r_{ij} = \frac{H_i - Y_{ij}}{H_j - D_j} \quad 5.3$$

kde D_j ...minimální hodnota ve sloupci j

H_j ...maximální hodnota ve sloupci j

Pro hodnotu potřebného užitku z varianty a_i pak platí vztah (5.4), ze kterého pak vybereme právě tu variantu, jenž dosáhne maximální hodnoty a je vybrána jako nejlepší.

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} \quad 5.4$$

kde v_j ...váha kritéria

[1], [8]

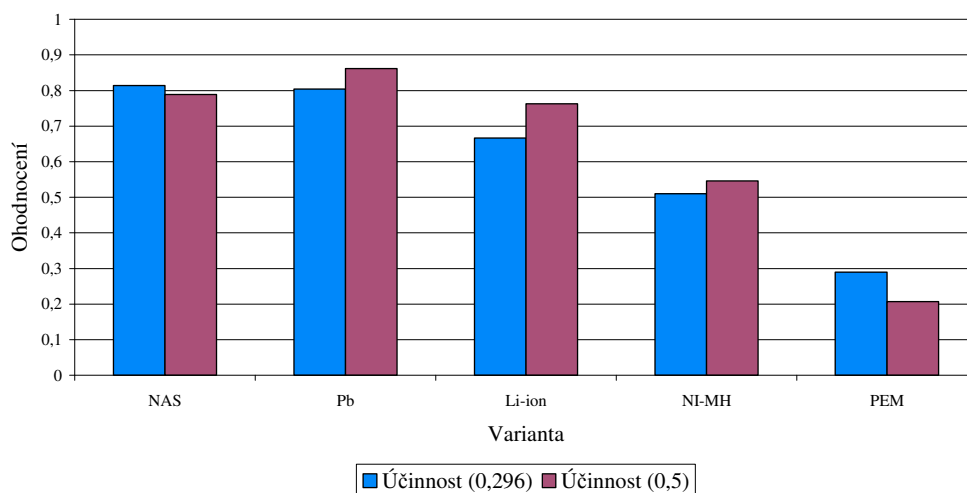
Tab. 6 Vypočtené hodnoty užitku jednotlivých variant dle metody WSA

<i>Variantá</i>	<i>Ohodnocení</i>
Sodík-sírové baterie	0,814
Olověné baterie	0,804
Li-ion	0,666
Ni-MH	0,51
PEM technologie	0,29

Jako nejlepší varianta dle metody WSA, vypočítanou pomocí programu MCA8, byla stanovena varianta sodík-sírových baterií. Tento akumulární systém je vhodný pro využití u větrných farem, kde je potřeba dodávky elektrické energie v době, kdy tyto větrné farmy nevyrábí elektřinu. Taková farma se nachází např. u města Rokkasho v Japonsku. [12]

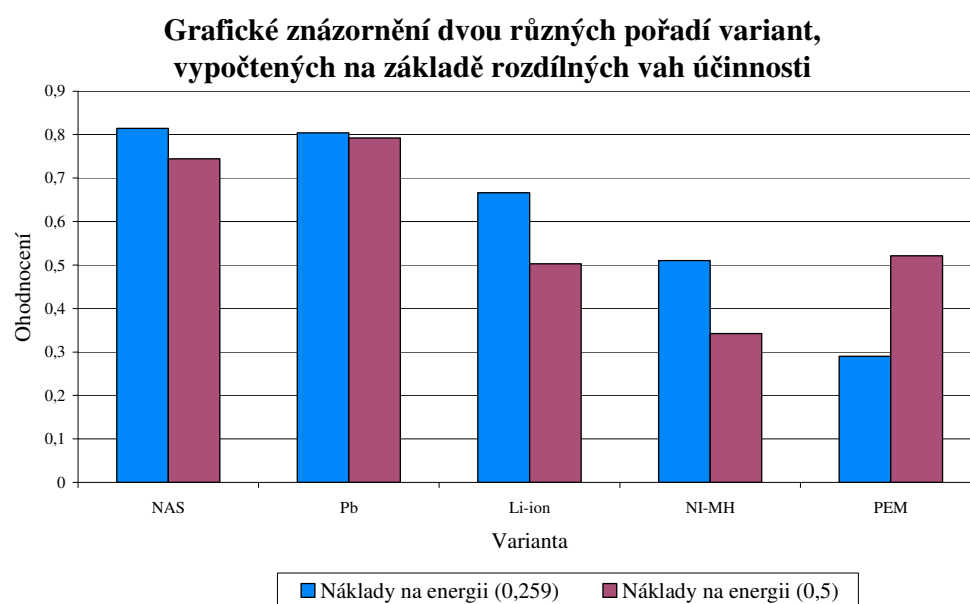
Tato varianta však vyšla jako nejlepší za předpokladu výpočtu vah kritérií, uvedeného v předchozí kapitole. V grafu na (Obr. 22) jsou patrná dvě různá pořadí variant, vypočtená na základě rozdílných hodnot váhy kritéria účinnosti. V obou případech mělo toto kritérium v porovnání s ostatními kritérii nejvyšší váhu: 0,296 resp. 0,5. Právě po zvýšení váhy účinnosti na hodnotu 0,5 klesla varianta sodík-sírových baterií na druhé místo celkového pořadí variant. K tomu, aby se tato varianta pokaždé umístila na prvním místě, musí mít kritérium účinnosti hodnotu váhy v rozmezí 0 až 0,324.

**Grafické znázornění dvou různých pořadí variant,
vypočtených na základě rozdílných vah účinnosti**



Obr. 22 Grafické znázornění účinnosti

Dále můžeme tyto varianty posoudit podle váhy kritéria, které má svou hodnotu důležitosti na druhém místě. Je to kritérium nákladů na energii. Při výpočtu vah kritérií, taktéž v předchozí kapitole, vyšlo toto kritérium s hodnotou váhy 0,259 na druhém místě. Pro tuto váhu je pořadí variant akumulčního systému stejné jako v předchozím případě. Zvýšíme-li váhu tohoto kritéria na stejnou hodnotu jako má kritérium účinnosti, tedy na 0,5, můžeme na (Obr. 23) vidět nové uspořádání variant. Při zvyšování váhy tohoto kritéria do hodnoty 0,306 bude původní uspořádání variant beze změn. Nad touto hranicí se změní pořadí (vzájemná pozice) olověných a sodík-sírových baterií. Zároveň se změna této váhy projeví na výsledném ohodnocení vodíkové PEM technologie, v našem případě modulu palivových článků NEXA (viz příloha). Jestliže váha kritéria nákladů na energii dosáhne hodnoty minimálně 0,4905, pak dojde ke změně pozice varianty vodíkové PEM technologie z posledního místa na třetí pozici výsledného pořadí variant.



Obr. 23 Grafické znázornění nákladů na energii

6 Akumulace vodíkovou technologií v laboratoři VŠB-TU Ostrava

V roce 2007 byl zahájen provoz laboratoře VŠB – TU Ostrava. V této laboratoři je realizován ostrovní energetický systém pro akumulaci obnovitelné energie do vodíku. Uvnitř laboratoře je zátěž, která je napájena fotovoltaickými panely, umístěnými na střeše této laboratoře. V laboratoři se provádí výzkum pro vozidla s nízkou spotřebou pro městský provoz a pro výrobu a dodávku elektrické energie do distribuční sítě, popř. ostrovních systémů.

6.1 Laboratoř palivových článků VŠB - TU Ostrava

Laboratoř palivových článků na VŠB - Technické univerzitě Ostrava je využívána pro výzkum vodíkových technologií a jejich praktických aplikací. Laboratoř je kompletně vybavena vodíkovým hospodářstvím a rozvodnou technologií vodíku a dusíku, který zde slouží jako bezpečnostní plyn. Vodík je skladován jak v tlakových lahvích (Obr. 24), ať už volně stojících nebo uložených do svazků, tak v zásobnících s metal-hydridy na bázi slitiny La/Ce-Ni.



Obr. 24 Tlakové láhve pro uskladnění vodíku, vyráběného elektrolyzérem Hogen GC600 (vpravo)

Laboratoř disponuje dvěma generátory vodíku, konkrétně nízkoteplotními elektrolyzéry Hogen GC600 (Obr. 25) produkujícími plyný vodík vysoké čistoty a dvěma moduly nízkoteplotních palivových článků NEXA Power Module Ballard (Obr. 25), jež z vodíku a vzdušného kyslíku vyrábí elektrickou energii. Oba typy zařízení využívají technologii PEM (Proton Exchange Membrane). Z bezpečnostních důvodů jsou tato zařízení umístěna v odvětrávaných digestořích. Tyto digestoře, stejně jako celá laboratoř, jsou vybaveny bezpečnostními čidly úniku vodíku.



Obr. 25 Elektrolyzér Hogen GC600 (vlevo) a modul palivových článků NEXA umístěné v digestořích

Elektrolyzéry je možné napájet buď přímo ze sítě 230 V anebo mohou být zapojeny do ostrovního systému laboratoře, který slouží pro akumulaci energie slunečního záření do vodíku. Na střeše laboratoře jsou k tomuto účelu instalovány polykrystalické fotovoltaické panely Schott Poly 165 (Obr. 26) s celkovým instalovaným výkonem 1980 Wp. Akumulační systém dále sestává z polovodičových měničů Sunny Charger 40, Sunny Island 4248 a SD-1000 a dále čtyř do série zapojených olověných baterií Fiamm 12FLB300 (Obr. 27), určujících hodnotu napětí stejnosměrné sběrnice (48 V).



Obr. 26 Fotovoltaické panely Schott Poly 165 na střeše laboratoře



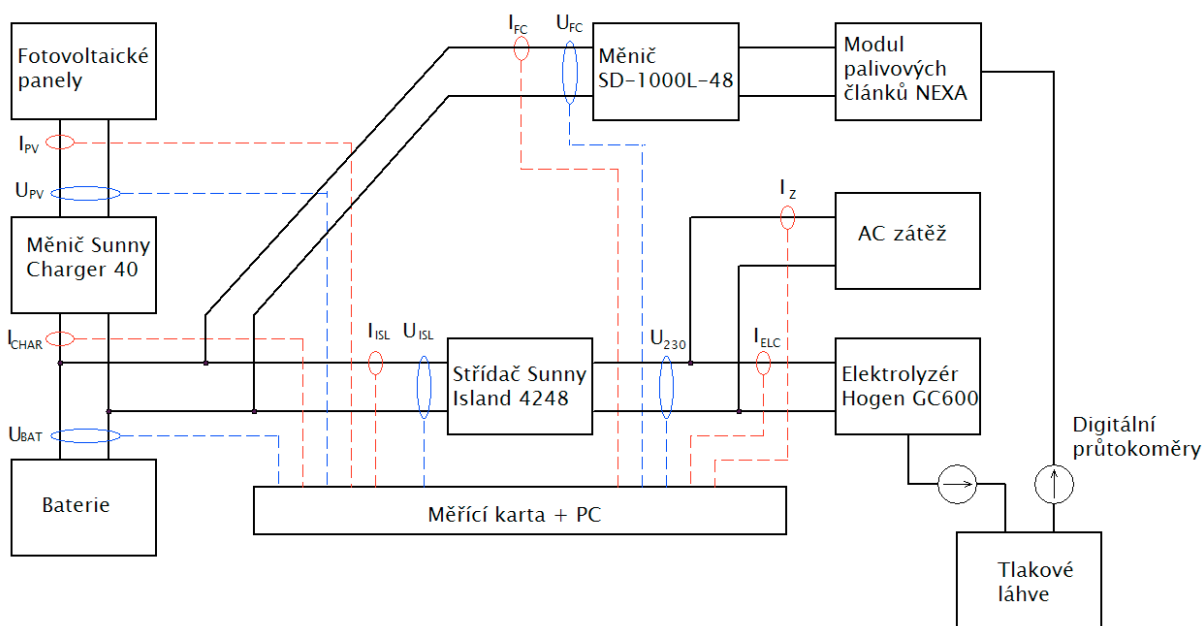
Obr. 27 Měnič Sunny Charger 40, střídač Sunny Island 4248, baterie Fiamm 12FLB300

Součástí rozvodu plynného vodíku jsou dále průtokoměry (analogové i digitální, viz příloha), manometry pro měření tlaku vodíku, regulační ventily tlaku vodíku a kulové ventily oddělovací (mechanické i elektromagnetické). Demineralizovaná voda, která je potřebná pro výrobu vodíku v elektrolyzáru, je připravována v osmotické filtrační jednotce Demiwa 10 rosa.

K měření elektrických i neelektrických veličin je v laboratoři realizován měřicí systém, který je tvořen měřicími čidly, jejichž signál je převáděn a vyhodnocován dvěma měřicími kartami NI USB-6218 a zpracováván ve dvou počítačích. Řízení akumulčního systému obstarává PLC programovatelný automat SIMATIC od firmy Siemens.

6.2 Měření na vodíkovém akumulacním systému

Měření v laboratoři VŠB – TU Ostrava probíhalo dne 4. 4. 2012 od 6:00 do 18:00 hodin. Systém, který je v laboratoři, pracoval autonomně a je blokově znázorněn níže viz. (Obr. 28).

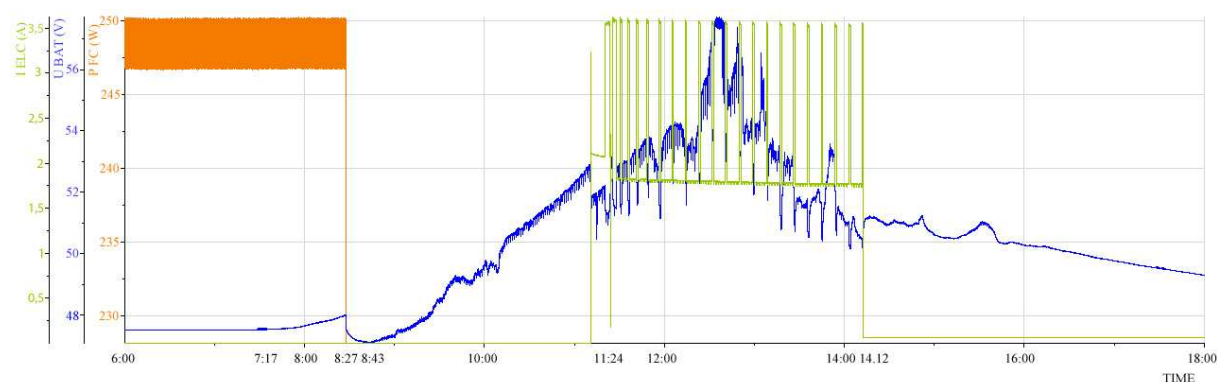


Obr. 28 Schéma akumulčního systému s vyznačenými měřicími body

Na začátku měření byla elektrická energie spotřebovávána žárovkovými svítilny, kterou vyráběl modul palivových článků NEXA (viz. příloha), jak je patrné z (Obr. 29). V čase 7:17 hod. se začala obloha rozjasňovat a fotovoltaické panely umístěné na střeše laboratoře začaly dodávat energii, která se ukládala do baterií. Tento proces trval do 8:27 hod., kdy systém vyhodnotil změnu stavu a odpojil modul palivových článků NEXA; odtud byla žárovková svítilna napájena pouze bateriemi. Intenzita ozáření fotovoltaických panelů dosáhla v čase 8:43 hod. hodnoty, kdy bylo dostatek energie pro napájení zátěže a zároveň i pro nabíjení baterií. Napětí na fotovoltaických panelech bylo v této době průměrně 85V. Průběh napětí po dobu celého měření je zaznamenán v grafu (Obr. 30). Rovněž průběh proudu je graficky znázorněn na (Obr. 32).

Další změna stavu nastala v čase 11:10 hod., kdy systém vyhodnotil dostatečné množství energie pro spuštění elektrolyzátoru. Aby mohl elektrolyzátor pracovat na plný výkon, musí být zahřátý a natlakovaný. Tento proces se uskutečňoval do 11:24 hod., kdy elektrolyzátor Hogen GC600 (viz příloha) dosáhl požadované teploty a tlaku (13,79 bar). V důsledku zahřátí a natlakování elektrolyzátoru započala výroba vodíku, který se následně uskladoval do tlakových lahví. V čase 11:10 hod. až 14:12 hod. musely spotřebu elektrolyzátoru a zátěže dotovat baterie, protože docházelo ke kolísání výkonu fotovoltaických panelů.

V tomto časovém úseku se výrazně projevuje závislost proudu elektrolyzáru a napětí baterií. Je to dáno tím, že k provozu elektrolyzáru, spojeného s periodicky se opakující obměnou reakční vody uvnitř, je zapotřebí většího výkonu a tím se snižuje napětí na bateriích. Výkon při běžné reakci se pohybuje okolo 400 W. V momentě obměny reakční vody tento výkon stoupá až na 800 W. Pokud by nezačal působit elektrolyzáru, byl by průběh křivky napětí na bateriích plynule rostoucí a se snížením intenzity slunečního záření by byl plynule klesající. Tento růst a následný pokles je prakticky zachován, avšak rozkmitán vlivem špičkových hodnot výkonu. Na (Obr. 33) můžeme sledovat celkový průběh výkonu elektrolyzáru.

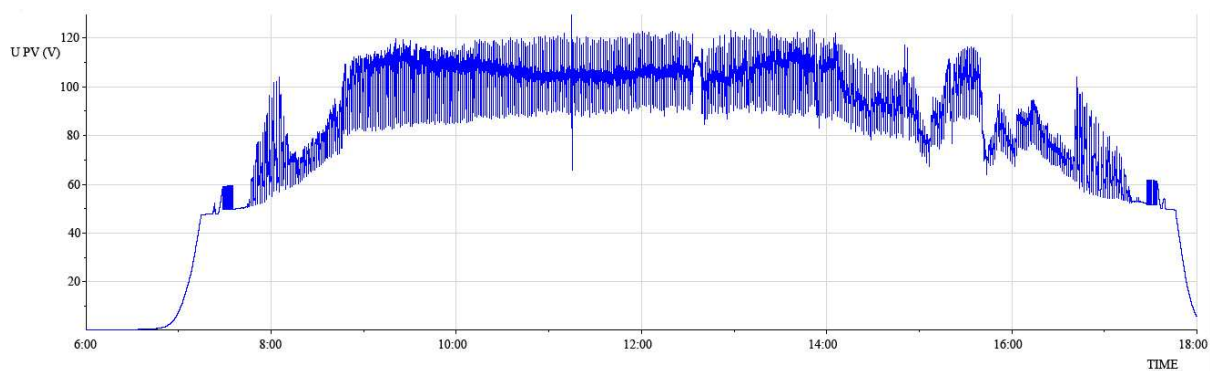


Obr. 29 Časový průběh proudu elektrolyzáru (I_{ELC}), napětí baterií (U_{BAT}) a výkonu fotovoltaických panelů (P_{FC})

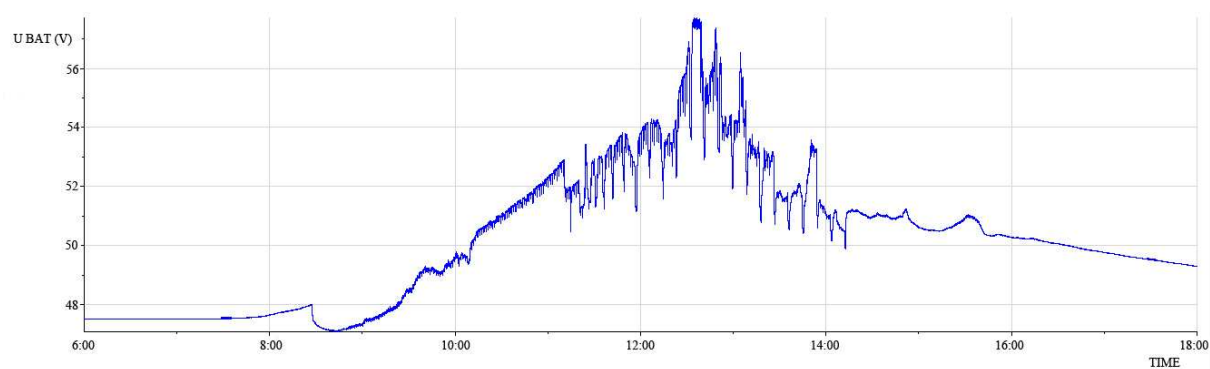
Na (Obr. 30) je patrná nejintenzivnější působnost přímého slunečního záření na fotovoltaické panely bez jakýchkoli výkyvů, a to v časovém rozmezí 12:33 až 12:38.

Z průběhu grafu v časovém úseku 14:12 hod. až 15:50 hod. je patrné, že žárovková svítidla byla napájena ze zdrojů fotovoltaiky a baterií. Dva výraznější výkyvy v rostoucím směru byly zapříčiněny již zmiňovaným zdrojem fotovoltaiky. Míra intenzity ozáření fotovoltaických panelů byla od doby 15:50 hod. již tak nízká, že napájení zátěže přebírají baterie. Napětí na bateriích klesalo až do konce měření (Obr. 31).

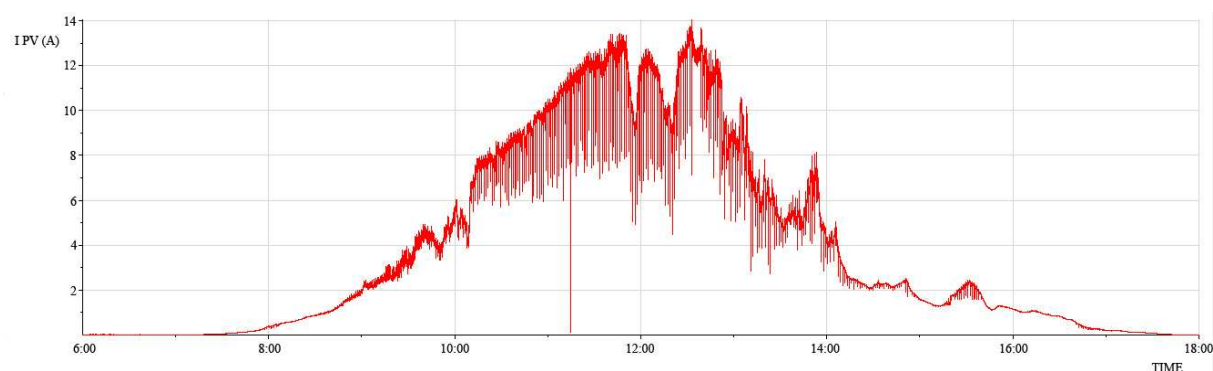
Baterie jsou schopny dodávat energii pro zátěž až do nočních hodin, kdy pak tuto funkci přebírá modul palivových článků NEXA, který ke své výrobě energie spotřebovává vodík, jenž byl předtím vyroben v průběhu dne.



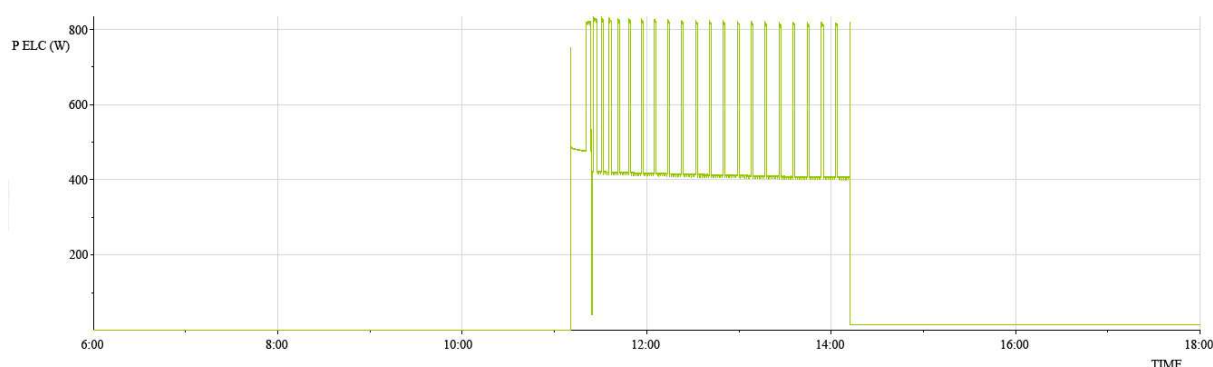
Obr. 30 Časový průběh napětí na fotovoltaických panelech



Obr. 31 Časový průběh napětí na bateriích



Obr. 32 Časový průběh proudu na fotovoltaických panelech



Obr. 33 Časový průběh výkonu na elektrolyzáru

6.3 Účinnost vodíkového akumulčního systému

Celková účinnost vodíkového akumulčního systému je dána účinností jednotlivých komponent tohoto systému. Tyto dílčí účinnosti, uvedené v následujících podkapitolách, jsou vypočítány na základě naměřených dat. Pro stanovení účinnosti komponent využívající vodíkovou technologii (elektrolyzáru a modul palivových článků) bylo zapotřebí určit tzv. ekvivalentní množství energie (ukryté) ve vodíku. Jedná se o množství energie, které je možné z uskladněného vodíku následně získat.

Účinnost elektrolyzáru

Ekvivalentní množství energie ve vyrobeném vodíku:

$$E_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{V_{molH_2}} \cdot Q_t \cdot U_{ROV} = \frac{111,41}{22,414} \cdot 53,596 \cdot 1,23 = \underline{\underline{327,68 \text{ Wh}}}, \quad 6.1$$

kde: E_{H_2} ... ekvivalentní množství energie ve vyrobeném vodíku (Wh),
 V_{H_2} ... množství vyrobeného vodíku (litry),
 V_{molH_2} ... objem 1 molu vodíku (litry),
 Q_t ... velikost elektrického náboje potřebného pro výrobu 1 molu vodíku (A. h),
 U_{ROV} ... rovnovážné napětí chemické reakce probíhající v elektrolyzáru (V).

Účinnost elektrolyzéru Hogen GC600 (účinnost výroby vodíku, včetně zahřívání a tlakování elektrolyzéru):

$$\eta_{ELC1} = \frac{E_{H2}}{E_{S1}} = \frac{327,68}{(124,57 + 1318,57)} = 0,227 \Rightarrow \eta_{ELC1(\%)} = \eta_{ELC1} \cdot 100 = \underline{\underline{22,7 \%}}, \quad 6.2$$

kde: η_{ELC1} ... účinnost elektrolyzéru (-),
 E_{H2} ... ekvivalentní množství energie ve vyrobeném vodíku (Wh),
 E_{S1} ... elektrická energie spotřebovaná elektrolyzérem pro jeho zahřátí na provozní teplotu, jeho natlakování na max. tlak 13,79 bar a samotnou výrobu vodíku (Wh),
 $\eta_{ELC1(\%)}$... účinnost elektrolyzéru (%).

Účinnost elektrolyzéru Hogen GC600 (účinnost výroby vodíku, bez zahřívání a tlakování elektrolyzéru):

$$\eta_{ELC2} = \frac{E_{H2}}{E_{S2}} = \frac{327,68}{1318,57} = 0,249 \Rightarrow \eta_{ELC2(\%)} = \eta_{ELC2} \cdot 100 = \underline{\underline{24,9 \%}}, \quad 6.3$$

kde: η_{ELC2} ... účinnost elektrolyzéru (-),
 E_{H2} ... ekvivalentní množství energie ve vyrobeném vodíku (Wh),
 E_{S2} ... elektrická energie spotřebovaná elektrolyzérem pro samotnou výrobu vodíku (Wh),
 $\eta_{ELC2(\%)}$... účinnost elektrolyzéru (%).

Účinnost modulu palivových článků

Účinnost modulu palivových článků (včetně měniče SD-1000):

$$\eta_{FC1} = \frac{E_{FC1}}{E_{H2}} = \frac{608,51}{1634,19} = 0,372 \Rightarrow \eta_{FC1(\%)} = \eta_{FC1} \cdot 100 = \underline{\underline{37,2 \%}}, \quad 6.4$$

kde: η_{FC1} ... účinnost palivových článků (-),
 E_{FC1} ... elektrická energie na výstupu měniče SD-1000 (Wh),
 E_{H2} ... ekvivalentní množství energie ve spotřebovaném vodíku (Wh),
 $\eta_{FC1(\%)}$... účinnost palivových článků (%).

Účinnost měniče SD-1000:

$$\eta_{SD} = \frac{E_{FC1}}{E_{FC2}} = \frac{608,51}{649,88} = 0,936 \Rightarrow \eta_{SD(\%)} = \eta_{SD} \cdot 100 = \underline{\underline{93,6 \%}}, \quad 6.5$$

kde: η_{SD} ... účinnost měniče SD-1000 (-),
 E_{FC1} ... elektrická energie na výstupu měniče SD-1000 (Wh),
 E_{FC2} ... elektrická energie vyrobená modulem palivových článků, bez vlastní spotřeby modulu (Wh),
 $\eta_{SD(\%)}$... účinnost měniče SD-1000 (%).

Účinnost modulu palivových článků NEXA (účinnost výroby elektrické energie z vodíku):

$$\eta_{FC2} = \frac{\eta_{FC1}}{\eta_{SD}} = \frac{0,372}{0,936} = 0,398 \Rightarrow \eta_{FC2(\%)} = \eta_{FC2} \cdot 100 = \underline{\underline{39,8 \%}}, \quad 6.6$$

kde: η_{FC2} ... účinnost palivových článků NEXA (-),
 η_{FC1} ... účinnost palivových článků (-),
 η_{SD} ... účinnost měniče SD-1000 (-),
 $\eta_{FC2(\%)}$... účinnost palivových článků NEXA (%).

Účinnost nabíječe baterií (Sunny Charger 40)

$$\eta_{CHAR} = \frac{E_{CHAR}}{E_{PV}} = \frac{4607,68}{4766,89} = 0,967 \Rightarrow \eta_{CHAR(\%)} = \eta_{CHAR} \cdot 100 = \underline{\underline{96,7 \%}}, \quad 6.7$$

kde: η_{CHAR} ... účinnost nabíječe baterií (-),
 E_{CHAR} ... elektrická energie na výstupu nabíječe (Wh),
 E_{PV} ... elektrická energie vyrobená FV panely (Wh),
 $\eta_{CHAR(\%)}$... účinnost nabíječe baterií (%).

Účinnost střídače (Sunny Island 4248)

$$\eta_{ISL} = \frac{(E_{SZ} + E_{SE})}{E_{ISL}} = \frac{(2361,39 + 1443,13)}{4197,14} = 0,906 \Rightarrow \eta_{ISL(\%)} = \eta_{ISL} \cdot 100 = \underline{\underline{90,6 \%}}, \quad 6.8$$

kde: η_{ISL} ... účinnost střídače (-),
 E_{SZ} ... elektrická energie spotřebovaná zátěží (Wh),

E_{SE} ... elektrická energie spotřebovaná elektrolyzérem (Wh),
 E_{ISL} ... elektrická energie na vstupu střídače (Wh),
 $\eta_{ISL(\%)}$... účinnost střídače (%).

Účinnost celého vodíkového akumulčního systému

$$\eta_{CELK} = \eta_{ELC2} \cdot \eta_{SD} \cdot \eta_{FC2} \cdot \eta_{CHAR} \cdot \eta_{ISL} = 0,249 \cdot 0,936 \cdot 0,398 \cdot 0,967 \cdot 0,906 = 0,081$$

6.9

$$\eta_{CELK(\%)} = \eta_{CELK} \cdot 100 = \underline{\underline{8,1 \%}}$$

Závěr

V této práci jsem se zabýval akumulací elektrické energie z obnovitelných zdrojů. V první části práce jsem teoreticky popisoval druhy obnovitelných zdrojů, které jsou v dnešní době významným a levným faktorem pro výrobu elektrické energie.

Následující kapitola je zaměřena na výklad a funkčnost jednotlivých systémů využívajících akumulaci energie. Charakterizované systémy jsou posouzeny dle jejich výhod a nevýhod v kapitole 3.

V kapitole 4 jsem navrhl několik kritérií pro rozhodovací analýzu. Hodnoty kritérií jednotlivých variant akumulačních systémů jsou stanoveny na bázi odborných pramenů. Díky tomu jsou vyhodnocovány s předpokladem minimalizace odchylek při daných podmínkách. Ve své práci jsem se soustředil na to, aby systémy akumulace byly zaměřené na lokální akumulaci, respektive v místě připojení do sítě NN.

Vyhodnocováním optimální varianty akumulace jsem se zabýval v kapitole 5. Po návrhu kritérií jsem pomocí programu MCA8 vyhodnotil variantu skrze vícekritériální metodu, kterou jsem pro tento účel zvolil. Systémy akumulace se seřadily pomocí programu MCA8 dle vícekritériální metody WSA tak, že jako nejlepší byly vyhodnoceny sodík-sírové akumulátory (NAS). Na pomyslnou první příčku se systém NAS dostal díky svým hodnotám, např. výkonu nebo životnosti.

Obecně lze konstatovat, že každá varianta systému má své specifické použití pro lokální akumulaci. Akumulátory na bázi sodíku a síry (NAS) je možné použít např. u větrných nebo solárních elektráren; mohou tak zásobovat elektrickou energií v době, kdy zmiňované elektrárny nemají výkon. Olověné (Pb) akumulátory jsou vzhledem ke své rozšířenosti v lokální akumulaci prozatím nenahraditelné. Alkalické akumulátory, v této práci popisované, jsou využívány v elektromobilech pro svou schopnost prodloužení dojezdu.

Poslední část mé práce je věnována měření na vodíkovém systému, který je v laboratoři palivových článků VŠB-TU Ostrava. Kapitola zachycuje průběh a výsledky laboratorního měření pomocí výpočtů a grafických znázornění. Zkoumal jsem jak účinnost jednotlivých částí akumulačního systému, tak i účinnost akumulačního systému jako celku.

Cílem měření bylo zjistit účinnost vodíkového systému. Tento proces začíná výrobou vodíku potřebného k pozdějšímu spotřebování pro výrobu elektrické energie. Účinnost systému elektrolyzáru, jenž vyráběl vodík, dosahovala 24,9 %. Po dobu mého měření byl elektrolyzáru v provozu od 11:24 do 14:12, a za tu dobu vyrobil 111,4 l vodíku. V tomto množství vodíku je 327,68 Wh ekvivalentní energie. Elektrolyzáru vyrábí vodík vysoké čistoty (až 99,9999 %). U energetického hlediska však tak vysoká čistota vodíku není potřebná. Proto jsem v tomto

kontextu dospěl k závěru, že hodnotu účinnosti tohoto systému interpretuji jako velice nízkou. Další částí tohoto systému byl měnič SD-1000 s účinností 93,6 %, měnič Sunny Charger 40 s účinností 96,7 %, střídač Sunny Island 4248 s účinností 90,6 % a modul palivových článků NEXA s účinností 39,8 %.

Výroba elektrické energie modulem palivových článků NEXA probíhala od začátku mého měření, tzn. od 6:00 do 8:27 hodin. V tomto čase spotřeboval modul palivových článků 555,63 l vodíku, jehož ekvivalentní energie byla 1634,19 Wh. Ukázalo se, že na výrobu elektrické energie pomocí vodíkové technologie se spotřebuje až 5krát více paliva, v tomto případě vodík, než se za poměrně stejný čas vyrobí.

Avšak i přes tuto nízkou hodnotu účinnosti spatřuji v akumulaci obnovitelné energie do vodíku velký význam z důvodu jeho schopnosti plnit funkci uchovatele energie ve velkém rozsahu.

Literatura

- [1] Hradílek, Z.: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: MONTANEX, 2008. 364 s. ISBN 978-80-7225-291-6
- [2] Janíček, F. a kol.: *Renewable energy sources 1*. Bratislava STU, 2009. 169 s. ISBN 978-80-89402-04-5
- [3] Cenek, M. a kol.: *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0
- [4] Fiala, P.; Jablonský, J.; Maňas, M.: *Vícekriteriální rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1996. 316 s. ISBN 80-7079-748-7
- [5] Hradílek, Z., Moldřík, P., Chválek, R.: *Electrical Energy Storage Systeme*. VŠB – Technical University of Ostrava, Department of Electrical Power Engineering, 2008
- [6] Hradílek, Z.; Šumbera, T.: *Reliability of Electrical Power Supplies from Renewable Sources*. VŠB – TU Ostrava, Electric Power Engineering, 2010
- [7] Novotný, J.; Matoušek, A.: *Photovoltaic Power Plants in the Electricity System*. FEKT VUT v Brně, Electric Power Engineering, 2010
- [8] Gurecký, J.; Moldřík, P.: *Decision-making Models of MCA and Supporting Software for Electric Power Engineering*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Electric Power Engineering, 2010
- [9] Bradford, R.: *Capturing Grid Power*. IEE power & energy magazine 2009
- [10] Libra, M.; Poulek, V.: *Akumulace elektrické energie*. Elektro, 2011
- [11] Hradílek, Z.; Moldřík, P.; Chválek, R.: *Electrical energy storage systems*. VŠB - Technical University of Ostrava, Department of Electrical Power Engineering, 2011
- [12] Naish, Ch.; McCubbin, I.; Edberg, O.; Harfoot, M.: *Outlook of energy storage technologies*. B-1047 Brussels, 2008
- [13] Drabek.: *Practical Application of Electrical Energy Storage System in Industry*. University of West Bohemia Plzen

- [14] Sokanský, K.: *Palivové články v energetice*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007
- [15] DE BOER, P., RAADSCHELDERS, J.: *Flow batteries*. Leonerdo ENERGY. 2007
- [16] Janík, L.; Doucek, A.; Dlouhý, P.: *Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR*. Husinec, 2010
- [17] Obnovitelné zdroje energie a skupina ČEZ. Katalog skupiny ČEZ. 2010
- [18] Shin-ichi Inage: *Prospects for Large-Scale Energy Storage in Decarbonised Power Grids*. International Energy Agency
- [19] Keith Pate, Zhen Li; Lacey Watson: *Primer Project – Energy Storage*. Final Report for Power Across Texas, Texas Tech University, 2011
- [20] Marconi: *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů*, 2008
- [21] Susan M. Schoenung; William V. Hassenzahl: *Long- vs. Short-Term Energy Storage Technologies Analysis A Life-Cycle Cost Study A Study for the DOE Energy Storage Systems Program*, 2003
- [22] Moldřík, P.; Chválek, R.; Šebesta, R.: *Operation Characteristics of Hydrogen Proton Exchange Membrane fuel Cells*. FEI VŠB - TU Ostrava, Electric Power Engineering, 2010
- [23] International Energy Agency: *Prospects for hydrogen and fuel cells*. Paris: STEDI Média, 2005. ISBN : 92-64-109-579 2005
- [24] Stephen, McCluer; Jean-Francois, Christin: *Comparing Data Center Batteries, Flywheels, and Ultracapacitors*. 2011
- [25] *FUEL CELL TECHNOLOGIES PROGRAM* [časopis]. EERE Information Center, 2011
- [26] Baláč, J.: *Akumulace elektrické energie*. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/akumulace.pdf>
- [27] *Akumulace energie*. Dostupné z: <http://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-05-26.0638199009/view>
- [28] *Obnovitelné zdroje energie*. Dostupné z: <http://www.eis.cz/problematika.php?klic=3/>

- [29] *Obnovitelné zdroje energie*. Dostupné z:
<http://www.eon.cz/cs/citizen/power_products/vyroba-elektricke-energie-z-obnovitelných-zdrojů.shtml >
- [30] *Francoisova turbína*. Dostupné z:
<<http://phprs1.3zsmr.cz/view.php?cislocclanku=2007040002>>
- [31] *Peltonova turbína*. Dostupné z: <<http://www.energetickyporadce.cz/slovník/peltonova-turbina.html> >
- [32] *Fungování větrných elektráren*. Dostupné z:
<<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html> >
- [33] *Obnovitelné zdroje energie*. Dostupné z: <<http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf> >
- [34] *Solární energie*. Dostupné z:
< <http://www.solarni-energie.info/solarni-elektrarny.php> >
- [35] *Alternativní zdroje energie*. Dostupné z:
< <http://www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarni-elektrarny.htm> >
- [36] *EkoWATT*. Dostupné z:
< <http://www.ekowatt.cz/uspory/elektrina-z-fotovoltaických-panelů.shtml> >
- [37] *Kaplanova turbína*. Dostupné z:
<<http://absolventi.gymcheb.cz/2008/otzemli/fyzika/index.htm>>
- [38] *Francoisova turbína*. Dostupné z:
<http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=francis_turb.html>
- [39] *Pelton turbine*. Dostupné z: <<http://www.cmchydro.es/en/turbine-pelton.php>>
- [40] *Biomasa*. Dostupné z: <<http://www.biomasa.us/>>
- [41] *Energo consulting*. Dostupné z: <<http://www.vyjimecnedomy.cz/solarni-parky>>
- [42] *Výhody a nevýhody baterie podle typu*. Dostupné z:
<<http://www.nabijime.cz/latest/vyhody-a-nevyhody-baterie-podle-typu>>

- [43] *Superkondenzátor*. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2006122601>>
- [44] *Geotermální energie*. Dostupné z:
< <http://www.ztcenergy.com/sluzby/geotermalni-energie/>>
- [45] *Geothermal energy*. Dostupné z:
<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/aqa_pre_2011/energy/mainselectricityrev5.shtml >
- [46] *Batérie budúcnosti budú ľahšie, menšie a s väčšou výdržou*. Dostupné z:
< <http://vat.pravda.sk/technologie/clanok/16786-baterie-buducnosti-budu-lahsie-mensie-a-s-vaecsou-vydrzou/>>
- [47] *Development of a New-type Lithium-Air Battery with Large Capacity*. Dostupné z:
<http://www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2009/20090727/20090727.html >
- [48] *Jak uložit energii*. Dostupné z:
< <http://e-vehicles.wz.cz/info/akumulace-energie.htm> >
- [49] *CESTY K AKUMULACI ELEKTRICKÉ ENERGIE*. Dostupné z:
<http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=6.1.6>
- [50] *Výroba vodíku*. Dostupné z: < <http://hytep.cz/?loc=article&id=6>>
- [51] *Palivové články, rozdělení, principy, vlastnosti* Dostupné z:
< <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6617-palivove-clanky-rozdeleni-principy-vlastnosti> >
- [52] *Advantage of Thin Film Batteries*. Dostupné z:
< http://www.excellatron.com/advantage_2.htm >
- [53] *Li-Air Batteries to Extend Electric Vehicle Range*. Dostupné z:
<<http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/115956.aspx> >
- [54] *Vícekritériální hodnocení variant - VHV*. Dostupné z:
<<http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/EKO422-Vahy.pdf> >
- [55] *Pennsylvania Wants Beacon Power's Flywheel Energy Storage*. Dostupné z:
<<http://cleantechnica.com/2011/08/11/pennsylvania-beacon-power-flywheel-energy-storage/>>

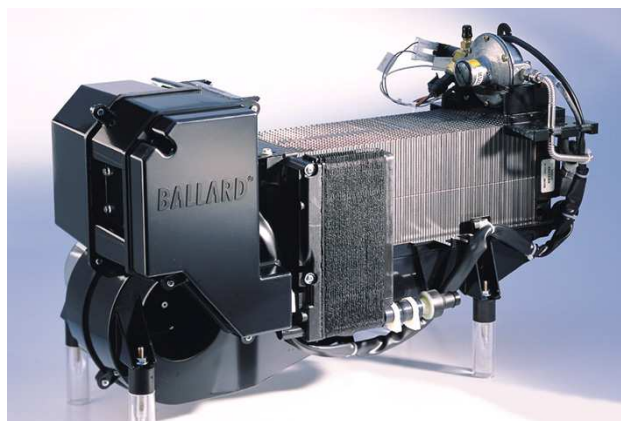
- [56] *FUEL CELL TECHNOLOGIES PROGRAM* [časopis]. EERE Information Center, 2010
- [57] Hradílek, Z.; Chválek, R.: *Výzkum akumulace energie z obnovitelných zdrojů v palivových článcích*. VŠB-TU Ostrava, EPE 2009
- [58] *Lithium–air battery*. Dostupné z:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium%E2%80%93air_battery>
- [59] Baláč, J.: *Akumulace elektrické energie*. LEEF Technologies, 2011
- [60] *Fuel Cell Products*. Dostupné z: <<http://ballard.com/fuel-cell-products/>>
- [61] *HOGEN S Series Hydrogen Generation System*. Dostupné z:
<<http://www.protononsite.com/products/laboratories/133.html>>
- [62] *Sunny Charger 40*. Dostupné z:
<<http://www.sma-czech.com/cs/produkty/stridace-pro-ostrovni-systemy/sunny-island-charger-40.html>>
- [63] *Sunny Island 3324/4248/4248US*. Dostupné z:
<<http://www.sma-czech.com/cs/produkty/stridace-pro-ostrovni-systemy/sunny-island-3324-4248-4248-us.html>>
- [64] *SD-1000L-48*. Dostupné z:
< <http://www.mean-well.cz/napajeci-zdroje/dc-dc-menice/prumyslove-menice/sd-1000/show/sd-1000l-48>>
- [65] AKUMA - průmyslové baterie s.r.o.: *HIGHLITE FLB ŘADA*. Dostupné z:
<<http://www.fiamm.info/download/kl/flb-cz-2008.pdf>>
- [66] *SCHOTT solar*. Dostupné z:
<<http://www.schottsolar.com/global/products/why-schott-solar/quality/>>

Příloha

Zařízení tvořící vodíkový akumulací systém

Modul palivových článků NEXA Power Module Ballard (výrobní č.: 01276)

Jedná se o modul nízkoteplotních vodíkových palivových článků NEXA Power Module Ballard, využívající technologii PEM (Proton Exchange Membrane). Modul NEXA je tvořen sériovým spojením jednotlivých palivových článků, rozvodem reakčních plynů (vodíku a atmosférického kyslíku), ventilátorem, kompresorem, řídicí elektronikou a dalším pomocným zařízením, nezbytným pro provoz. [60]



Technické údaje:

Max. výstupní výkon (W)	1200
Jmenovité výstupní napětí (V)	26
Rozsah výstupního napětí (V)	22 - 50
Rozsah vstupního napětí	18 - 30 V
Spotřeba paliva - vodíku (l/min)	< 18,5
Čistota paliva - vodíku (%)	99,99
Rozsah tlaku paliva - vodíku (kPa)	70 - 1720 kPa
Životnost (membrány)	1500 h (provozních)
Hlučnost (dB)	72
Produkce odpadní vody (ml/h)	870
Provozní teplota (°C)	3 - 40
Provozní vlhkost (%)	0 - 95
Rozměry (mm)	560 x 330 x 250
Hmotnost (kg)	13

Elektrolyzátor Hogen GC600 (výrobní č.: GC201102000)

Jedná se o nízkooteplotní generátor vodíku (elektrolyzátor) Hogen GC600, využívající technologii PEM (Proton Exchange Membrane). Elektrolyzátor má uvnitř zabudován měnič pro usměrnění střídavého napájecího napětí. [61]



Technické údaje:

Maximální průtok vodíku	0 - 600 cm ³ / min
Dodávaný tlak, barg (psig)	3 - 13,8 barg (45 až 200 psig) ; ± 5% rozsahu výstup (FSO), < 0,5 ppm vodní páry
Analýza produktu	< 1 ppm kyslíku < 10 ppm vodní páry < 1 ppb uhlovodíky / halogenové uhlovodíky
Čistota vodíku	99,9999 %
Obsah zásoby vodíku	< 0.1 g vodíku obsaženého v systému
Specifikace čistoty deionizované vody	> 1 megohm-cm (<1 microSiemen / cm) nebo lepší
Kapacita nádrže DI vody	1,9 l - od plné úrovně do vypínací úrovně
Spotřeba deionizované vody	0,3 cm / min při plném jmenovitém výkonu, ekvivaletně 0,45 l za 24 hodin provozu 0,6 cm / min při plném jmenovitém výkonu, ekvivaletně 0,9 l za 24 hodin provozu
Trvanlivost vodní nádrže (od plné do vypínací)	> 100 hodin nepřetržitého chodu > 50 hodin nepřetržitého chodu
Spotřeba energie	< 1200 W
Napájení	100 - 240 VAC, 47/63 Hz
rozměry v x š x d	23 cm x 52 cm x 37 cm
Hmotnost	23 kg
Min / Max Okolní teplota	10 ° C / 35 ° C (50 ° F / 95 ° F)
Max Vlhkost	80 % RH
Ovládání	nastavitelný požadovaný tlak, dálkový konektor alarmu, ovládání parametrů klávesnicí.
Nastavení	tlak, displej, napájení, generování, údaje o náplni, stav
Vypnutí	špatná kvalita vody, nízká hladina vody, napětí článku stacku, teplota čističky, ztráta ventilace skříně

Měnič Sunny Charger 40 (výrobní č.: 1225001134)

Široký rozsah vstupního DC napětí u Sunny Charger 40 umožňuje účelnou konfiguraci systému pro téměř všechny FV panely. Mezi jedinečné vlastnosti regulátorů nabíjení tohoto výkonového rozsahu patří jejich vysoký stupeň krytí, provoz bez ventilátoru a široký rozsah teplot, který umožňuje jejich použití i za drsných podmínek prostředí. [62]



Technické údaje:

DC vstup	
Max. FV výkon	2100 W
Max. DC napětí	140 VDC
Optimální rozsah napětí sledovače	70 V – 100 V
Počet sledovačů MPP	1
Max. FV proud	30 A
DC výstup	
Jmenovitý DC výkon do 40 °C	2000 W
Jmenovité napětí baterie	48 V
Rozsah jmenovitého napětí	36 V – 65 V
Typ baterie	utěsněné a uzavřené olověné baterie
Max. nabíjecí proud / trvalý nabíjecí proud	40 A / 40 A
Regulace nabíjení	IUoU
Max. účinnost	98%
Euro-Eta	97,30%
Rozměry (Š / V / H) v mm	421 / 310 / 143
Hmotnost	10 kg
Stupeň krytí (podle normy IEC 60529)	IP65
Rozsah provozních teplot	-25 °C +60 °C
Vlhkost vzduchu	0 % – 100 %
Vlastní spotřeba přes den	< 5 W
Vlastní spotřeba v noci	< 3 W

Střídač Sunny Island 4248 (výrobní č.: 1256002879)

Střídače Sunny Island 4248 se zvláště hodí k použití v malých a středních ostrovních systémech. Zaručují spolehlivé a vysoce kvalitní napájení. Díky svým vynikajícím vlastnostem při přetížení a odolnosti proti vysokým teplotám okolí lze tyto střídače používat i v extrémních klimatických podmínkách. [63]



Technické údaje:

AC výstup	
Jmenovité AC napětí (nastavitelné)	230 V (202 V – 253 V)
Jmenovitá AC frekvence (nastavitelná)	50 Hz (45 Hz – 55 Hz)
Trvalý AC výkon při 25 °C / 45 °C	4200 W / 3400 W
AC výkon při 25 °C na 30 min / 1 min / 3 s	5400 / 7000 / 11400 W
Jmenovitý AC proud / max. AC proud (špička)	18 A / 100 A na 100 ms
Harmonické zkreslení výstupního napětí / účinník (cos φ)	< 3 % / –1 až +1
DC vstup	
Napětí baterie (rozsah)	48 V (41 V – 63 V)
Max. nabíjecí proud baterie / trvalý nabíjecí proud při 25 °C	100 A / 80 A
Typ baterie / kapacita baterie (rozsah)	Pb / 100–6000 Ah
Regulace nabíjení	metoda IUoU
Max. účinnost	95%
Vlastní spotřeba bez zatížení / pohotovostní režim	22 W / 4 W
Rozměry (Š / V / H) v mm	390 / 590 / 245
Hmotnost	39 kg
Rozsah provozních teplot	–25 °C +50 °C
Stupeň krytí (podle normy IEC 60529)	vnitřní instalace (IP 30)

Měnič SD-1000L-48 (výrobní č.: RA85320657)

DC/DC měnič SD-1000L-48 Mean Well v jednofázovém průmyslovém provedení s ventilátorem. Ve vodíkovém akumulacním systému plní funkci stabilizačního měniče na výstupu modulu palivových článků NEXA. [64]



Technické údaje:

DC výstup, DC vstup	
Jmenovité napětí	48 V
Jmenovitý proud	21 A
Proudový rozsah	0 – 21 A
Jmenovitý výkon	1008 W
Nastavitelný napěťový rozsah	46 – 60 V
Tolerance napětí	± 1 %
Vstupní DC proud	23,5 A
Přetížení	105 – 125 % jmenovitého výkonu
Rozsah pracovní teploty	-20 °C až +60 °C
Rozměry	295 x 127 x 41 mm
Hmotnost	1,94 kg

Baterie Fiamm 12FLB300

Baterie Fiamm 12FLB300 jsou specificky navrženy k tomu, aby podávaly optimální výkonnost ve staničních aplikacích požadujících vysokou intenzitu vybíjení. Baterie jsou ventilem řízené, bezúdržbové typy s elektrolytem vázaným v separátorech, tvořených mikroporézní skelnou rohoží. [65]



Technické údaje:

Jmenovité napětí (V)	12
Kapacita při 20°C 1,75V/čl./20hod (Ah)	75
Hmotnost (Kg)	27
rozměry (cm)	261x174x219
Životnost (let)	10-12
Samovybíjení při 20°C	< 2% / měsíc

Vybíjecí údaje (W) při T=25 °C a konečném napětí 1,67 V/čl.						
minuty						
5	10	15	20	30	45	60
526	394	311	254	187	135	106

Digitální průtokoměry Aalborg XFM-17 a GFM-37 (výrobní č.: 226384-2 a 238779-1)



LCD displej: aktuální průtok vodíku (litry/min)
a totalizér (litry)
Rozsah: 0 - 5 l/min
Digitální rozhraní: RS232, RS485
Kalibrační údaje: až pro 10 plynů



LCD displej: aktuální průtok vodíku (litry/min)
a totalizér (litry)
Rozsah: 0 - 20 l/min
Digitální rozhraní: RS232, RS485
Max. tlak: 68 bar

Fotovoltaické panely Schott Poly 165

Na střeše laboratoře je instalováno 12 ks polykrystalických křemíkových fotovoltaických panelů Schott Poly 165 v sério-paralelním zapojení (4 paralelní sekce po 3 panelech v sérii) o celkovém výkonu 1980 Wp. [66]



Technické údaje (jeden FV panel):

Jmenovitý výkon (Wp)	165
Napětí v bodě maximálního výkonu (V)	35,1
Proud v bodě maximálního výkonu (A)	4,7
Napětí na prázdko (V)	43,6
Zkratový proud (A)	5,27
Účinnost (%)	12,7
Rozměry (mm)	1620 x 810 x 50
Hmotnost (kg)	15,5
Články (ks, mm)	72, 125 x 125
Připojení	kabely s TYCO konektory
Ochrana	3 ks překlenovacích diod